Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Ledebur, Adolf,

Handbuch der Eisenhüttenkunde für den Gebrauch im Betriebe wie zur Benutzung beim Unterrichte bearbeitet

Bd.: 1

1899

BHS I C 271-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb12027560-0

BHS I C 271-1

Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe I d
B Nr. 271

HANDBUCH
DER
EISENHÜTTENKUNDE.

FÜR DEN GEBRAUCH IM BETRIEBE WIE ZUR BENUTZUNG
BEIM UNTERRICHTE BEARBEITET.

VON

A. LEDEBUR,
OBERBERGRATH UND PROFESSOR AN DER K. BERGAKADEMIE ZU FREIBERG IN SACHSEN.

DRITTE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE.

ERSTE ABTHEILUNG:
EINFÜHRUNG IN DIE EISENHÜTTENKUNDE.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN.

BIBLIOTHEK
DER K.B.GENERAL
BERGW.U.SALINEN
ADMINISTR.

LEIPZIG,
VERLAG VON ARTHUR FELIX.
1899.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Inhaltsverzeichniss.

Erste Abtheilung.

Einführung in die Eisenhüttenkunde.

Seite

I. Eintheilung des Handelseisens, Geschichtliches und Statistisches . . 3
1. Eintheilung und Benennungen 3
2. Geschichtliches . 8
3. Die Eisenerzeugung der verschiedenen Länder 14
Allgemeines 14. Vereinigte Staaten Nordamerikas 16. Grossbritannien 18. Deutschland und Luxemburg 21. Frankreich 25. Russland 27. Oesterreich-Ungarn 28. Belgien 31. Schweden 32. Spanien 33. Kanada 34. Italien 34.
Litteratur . 34

II. Ueber Verbrennung, Reduction, Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe 36
1. Verbrennung und Reduction 36
a) Allgemeines 36. b) Die wichtigsten Reductionsmittel 38. c) Einfluss der Anwesenheit dritter Körper auf den Verlauf der Reduction 41.
2. Vollständige und unvollständige Verbrennung 41
a) Erklärungen 41. b) Kohlenstoff und Kohlenoxyd. Reduction der Kohlensäure durch Kohle 42. c) Wasserstoff 46. d) Kohlenwasserstoffe 47. e) Allgemeine Regeln zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung 47.
3. Wärmeerzeugung und Verbrennungstemperatur 50
a) Wärmeerzeugung 50. b) Verbrennungstemperatur 55.
4. Wärmeabgabe . 58
Litteratur . 59

III. Die Brennstoffe . 59
1. Feste rohe Brennstoffe 59
a) Das Holz 59. b) Der Torf 61. c) Die Braunkohle 64. d) Die Steinkohle und der Anthracit 65. e) Rückblicke auf die Arten der festen rohen Brennstoffe 70.
2. Durch Verkohlung gewonnene Brennstoffe und ihre Darstellung . . 71
a) Allgemeines 71. b) Die Verkohlung des Holzes und die Holzkohle 72. c) Die Verkohlung des Torfes und die Torfkohle 78. d) Die Verkohlung (Verkokung) der Steinkohlen und die Koks 78.
3. Flüssige Brennstoffe 99
4. Gasförmige Brennstoffe und ihre Gewinnung 100
a) Allgemeines 100. b) Natürlich vorkommendes Gas 103. c) Brenngase als Nebenerzeugnisse anderer Verfahren 103. d) Das Luftgas und seine Darstellung 105. e) Das Wassergas 120. f) Das Mischgas 122.
Litteratur . 125

IV. Die Oefen und feuerfesten Baustoffe 130
1. Allgemeines. Wirkungsgrad der Oefen 130
2. Die verschiedenen Ofengattungen 131
a) Feuer 131. b) Schachtöfen 133. c) Flammöfen 134. Flammöfen mit Rostfeuerung 136. Flammöfen mit Gasfeuerung 141. Flammöfen mit beweglichem Herde 159. Wirkungsgrad der Flammöfen 164.
3. Das Ofenmauerwerk . 164
4. Die feuerfesten Baustoffe 169
A. Feuerfeste Baustoffe mit Kieselsäure als Grundbestandtheil 170. B. Feuerfeste Baustoffe mit thonigem Grundbestandtheil 171 (feuerfester Thon, Chamott, Masse). C. Basische feuerfeste Bau-

Seite

stoffe 174. D. Kohlenstoffziegeln 180. E. Die feuerfesten Mörtel 180.

Litteratur . . . 181

V. Die Schlacken der Eisendarstellung . . . 184

1. Begriff und Zusammensetzung . . . 184
2. Eintheilung und Benennung . . . 188
3. Schmelztemperatur, Schmelzbarkeit und Flüssigkeitsgrad . . . 189
4. Das Gefüge . . . 199
5. Die Farbe . . . 201
6. Das specifische Gewicht . . . 203

Litteratur . . . 203

VI. Die Erze nebst Zuschlägen und ihre Vorbereitung für die Verhüttung 204

1. Die Erze . . . 204

A. Die Spatheisensteine (Eisenspathe) 205. B. Die thonigen Sphärosiderite und verwandten Erze 207. C. Brauneisenerze 209. D. Rotheisenerze 214. E. Magneteisenerze 216. F. Eisenreiche, zur Eisendarstellung verwendete Nebenerzeugnisse anderer Verfahren 218. G. Manganerze 219.

2. Die Zuschläge . . . 220
3. Die Vorbereitungsarbeiten . . . 223

A. Die Zerkleinerung 223. B. Das Waschen 228. C. Das Rösten 229. D. Das Verwittern und Auslaugen 255. E. Die elektromagnetische Aufbereitung 257.

Litteratur . . . 258

VII. Die metallurgische Chemie des Eisens . . . 260

1. Das reine Eisen . . . 260
2. Allgemeines über die Vereinigungen des Eisens mit anderen Körpern 267
3. Eisen und Sauerstoff . . . 271

Die verschiedenen Eisensauerstoffverbindungen 271. Oxydation des erhitzten Eisens 273. Oxydation des geschmolzenen Eisens 276. Das Rosten und die Zerstörung des Eisens durch Flüssigkeiten 279. Die Reduction der Eisenoxyde durch Kohle und Kohlenoxyd 285. Kohlenstoffausscheidung aus Kohlenoxyd auf Eisenoxyden 288.

4. Eisen und Kohlenstoff . . . 289

Aufnahme des Kohlenstoffs durch Eisen 289. Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff 290. Die Formen des Kohlenstoffs im Eisen 293. Die kritischen Punkte des kohlenstoffhaltigen Eisens 305. Das Kleingefüge kohlenstoffhaltigen Eisens 307. Einflüsse des Kohlenstoffgehalts auf die Eigenschaften des Eisens 309.

5. Eisen und Silicium . . . 311
6. Eisen und Phosphor . . . 315
7. Eisen und Schwefel . . . 318
8. Eisen und Mangan . . . 325
9. Eisen und Kupfer . . . 329
10. Eisen und Nickel oder Kobalt . . . 330
11. Eisen und Chrom . . . 331
12. Eisen und Wolfram . . . 333
13. Eisen und Arsen, Antimon . . . 335
14. Eisen und Zinn . . . 336
15. Eisen und Zink oder Wismuth . . . 337
16. Eisen und Aluminium . . . 338
17. Eisen und Titan, Vanadium . . . 340
18. Eisen und Blei nebst Silber . . . 341
19. Eisen und Gold, Platin, Osmium, Iridium, Palladium . . . 342
20. Eisen und Molybdän, Bor . . . 342
21. Eisen und Calcium, Magnesium, Barium, Strontium, Kalium, Natrium 342
22. Eisen und Wasserstoff . . . 343
23. Eisen und Stickstoff . . . 347
24. Eisen und Kohlenoxyd . . . 349

Litteratur . . . 351

ERSTE ABTHEILUNG.

EINFÜHRUNG
IN DIE
EISENHÜTTENKUNDE.

I. Eintheilung des Handelseisens, Geschichtliches und Statistisches.

1. Eintheilung und Benennungen.

In den Gewerben und im täglichen Leben pflegt man einen etwas anderen Begriff mit dem Ausdrucke Eisen zu verbinden, als in der Chemie. Letztere Wissenschaft lehrt uns das Eisen als ein einfaches Metall, ein Element, kennen, welches keine anderen Bestandtheile weiter enthält; alles gewerblich dargestellte und in den Handel gebrachte Eisen dagegen und somit auch alles Eisen, welches uns im täglichen Leben begegnet, sei es als Material für weitere Verarbeitung, sei es als fertiger Gebrauchsgegenstand, enthält neben jenem reinen Eisen als dem Hauptbestandtheile eine kleinere oder grössere Menge fremder Körper, welche ihm zum Theil absichtlich, theils auch unabsichtlich bei der Darstellung zugeführt wurden und seine Eigenschaften beeinflussen. Der wichtigste dieser fremden Körper, welcher in jedem Handelseisen, wenn auch bisweilen nur in sehr geringer Menge, sich findet, ist der Kohlenstoff; andere häufige Begleiter des Eisens sind Silicium, Phosphor, Schwefel, Mangan, Kupfer; minder wichtig, obschon in kleinen Mengen fast immer nachweisbar, sind Nickel und Kobalt; mitunter finden sich Arsen, Antimon, Chrom, Titan, Vanadium und einige andere Körper.

Eisenarten mit abweichendem Gehalte an diesen fremden Körpern zeigen oft stärkere Abweichungen in ihrem Aeusseren und ihren sonstigen Eigenschaften als manche ganz verschiedene Metalle. Man trennt demnach zunächst das gesammte Handelseisen in zwei grosse Gruppen: **Roheisen** mit einer reichlicheren Menge jener fremden Bestandtheile und **schmiedbares Eisen** mit einer geringeren Menge. Die beiden Eisengattungen unterscheiden sich theils durch die Verschiedenheit ihrer Schmelztemperaturen, theils durch ihr Verhalten gegenüber mechanischen Einflüssen, sowohl in gewöhnlicher Temperatur als im erhitzten Zustande. Roheisen schmilzt in weniger hoher Temperatur und mit weniger Aufwand von Wärme als schmiedbares Eisen und geht, ohne zuvor zu erweichen, aus dem festen in den flüssigen Zustand über, wenn die Schmelztemperatur erreicht ist; ebenso rasch vollzieht sich der Vorgang des Erstarrens, und in allen unterhalb des Schmelzpunkts (Erstarrungspunkts) liegenden Temperaturen ist das Roheisen spröde, d. h. es erträgt keine Aenderungen seiner Form, ohne zu zerbrechen. Es muss daher geschmolzen und durch Eingiessen in Formen verarbeitet

werden, wenn eine Formveränderung vorgenommen werden soll. Schmiedbares Eisen erweicht beim Erhitzen allmählich, bevor es völlig flüssig wird, und ist in diesem Zustande, wie die Benennung sagt, schmiedbar. Auch im kalten Zustande besitzt es häufig ein hohes Maass von Geschmeidigkeit; aber seine Schmelztemperatur liegt höher als die des Roheisens und steigt überhaupt, wenn seine fremden Bestandtheile abnehmen.

Sofern neben Kohlenstoff keine erheblichen Mengen von fremden Körpern im Eisen zugegen sind, liegt die Grenze zwischen Roheisen und schmiedbarem Eisen bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 2,6 v. H.; finden sich neben Kohlenstoff aber andere Körper, insbesondere Metalloide (Silicium, Phosphor, Schwefel), im Eisen vor, so beeinträchtigen diese ebenfalls die Schmiedbarkeit, das Eisen verliert schon bei einem entsprechend niedrigeren Kohlenstoffgehalte seine Schmiedbarkeit und wird Roheisen.

Uebergangsstufen zwischen Roh- und schmiedbarem Eisen sind ziemlich selten; sie sind nur für wenige Zwecke verwendbar, und man stellt sie deshalb selten absichtlich dar. Die meisten Roheisenarten enthalten mehr fremde Körper als 2,6 Hunderttheile, die meisten Arten schmiedbaren Eisens erheblich weniger.

Beide Eisengruppen zerfallen wieder in mehrere Gattungen.

Manche Roheisenarten besitzen die Eigenthümlichkeit, auf Grund später zu erörternder Ursachen ihren Kohlenstoff beim Erstarren zum grossen Theile als selbstständigen Körper in Form von Graphit auszuscheiden, welcher zwischen den Absonderungsflächen des Gefüges sich einlagert, der Bruchfläche des Roheisens eine graue Farbe ertheilend. Solches Roheisen heisst graues Roheisen. Bei anderen Roheisenarten verharrt der Kohlenstoffgehalt auch nach dem Erstarren im sogenannten „gebundenen“ Zustande, d. h. als ein dem Auge nicht ohne chemische Zerlegung des Roheisens erkennbarer, auf mechanischem Wege nicht von dem Eisen trennbarer Bestandtheil. Das Roheisen besitzt in diesem Falle auf der Bruchfläche weisse Farbe und wird demzufolge weisses Roheisen genannt. In noch anderen Fällen stellt der Eisenhüttenmann für gewisse Zwecke seines Betriebes kohlenstoffhaltige Legirungen zwischen Eisen und Mangan dar, welche zwar in ihrem Aussehen und ihren Eigenschaften dem weissen Roheisen ähnlich sind und in der That an das manganhaltige weisse Roheisen unmittelbar sich anreihen, wegen ihres hohen Mangangehaltes aber, der mitunter mehr als 80 v. H. beträgt, nicht dem Roheisen im eigentlichen Sinn zugezählt werden können, und die man Eisenmangane oder Ferromangane zu nennen pflegt.

Ist das Roheisen — insbesondere das graue Roheisen — durch Eingiessen in Formen zu Gebrauchsgegenständen verarbeitet (Oefen, Säulen, Gittern, Röhren, Maschinentheilen u. a. m.), so pflegt es als Material dieser Gegenstände Gusseisen genannt zu werden.[1])

1) Man spricht von gusseisernen Oefen, Säulen u. s. w. Die Bezeichnung bleibt jedoch nur so lange gültig, als jene Gegenstände auch thatsächlich für den Gebrauch bestimmt sind. Werden sie aus irgend einer Ursache ihrer Bestimmung entzogen und

Bei der Eintheilung des schmiedbaren Eisens kann man zwei verschiedene Gesichtspunkte als maassgebend betrachten: den Entstehungszustand — ob flüssig oder nichtflüssig — und das abweichende mechanische Verhalten.

Manche Arten schmiedbaren Eisens erfolgen bei ihrer Darstellung in einer Temperatur, welche unterhalb ihres Schmelzpunkts liegt, jedoch höher, als die Schmelztemperatur der miterfolgenden Schlacke ist. Sie bestehen aus zahlreichen Eisenkörnern oder Eisenkrystallen, welche zusammenschweissen, aber stets mehr oder minder reichliche Mengen flüssiger Schlacke zwischen sich eingeschlossen enthalten. Um von dieser befreit zu werden, erfordert solches Eisen eine umfängliche mechanische Bearbeitung in jener Temperatur, in welcher das Eisen einen weichen bildsamen Zustand annimmt und „schweissbar" wird, d. h. in welcher getrennte Stücke sich durch Druck oder Hammerschläge zu einem Ganzen vereinigen lassen, während die eingemengte Schlacke flüssig ist und in diesem flüssigen Zustande unter dem Einflusse jener Bearbeitung aus dem Eisen herausgequetscht wird. Solches Eisen heisst Schweisseisen. Eine vollständige Entfernung aller eingemengten Schlacke ist jedoch auf jenem Wege niemals zu erreichen, und alles Schweisseisen ist demnach schlackenhaltig.[1])

Andere Arten schmiedbaren Eisens erfolgen im flüssigen Zustande. Eine Einmengung von Schlacke ist hierdurch ausgeschlossen, da die flüssige, specifisch leichtere Schlacke sich rasch von dem flüssigen Eisen sondert. Solches Eisen ist schlackenfrei und wird Flusseisen genannt. Während das Schweisseisen, wie erwähnt, aus einzelnen, getrennt entstandenen und dann erst vereinigten Körnern besteht, welche keineswegs immer ganz gleichartig zusammengesetzt sind, bildet das erstarrte Flusseisen von vorn herein ein einziges, im Ganzen erfolgendes Stück. Sowohl der fehlende Schlackengehalt als dieser letzterwähnte Umstand bedingen wesentliche Unterschiede in dem Verhalten beider Eisenarten.

Schweisseisen und Flusseisen sind nach Maassgabe jenes verschiedenen Entstehungszustandes deutlich unterschieden. Aber erst seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts stellt man überhaupt Flusseisen gewerblich dar; eine hervorragende Bedeutung hat die Flusseisenerzeugung erst in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts erlangt. Für eine andere Eintheilung des schmiedbaren Eisens in zwei Gattungen bildete früher ganz allgemein und bildet jetzt noch vielfach das verschiedene Maass der Festigkeit und Härte das Unterscheidungsmerkmal.

für die Wiederverarbeitung benutzt, so pflegt man das Material Bruch- oder Alteisen zu nennen. Vom chemischen Standpunkte ist es nichts anderes als Roheisen; auch die Verfahren der Verarbeitung sind im Wesentlichen die nämlichen.

1) Ein Bild des Entstehungsvorganges des Schweisseisens und seiner Reinigung von Schlacke kann man sich machen, wenn man an die Entstehung von Butter aus Milch denkt. Wie die Butter im teigigen Zustande in Form zusammenballender Körner von der flüssig bleibenden Buttermilch sich sondert, aber zunächst noch reichliche Mengen der letzteren eingeschlossen enthält und nur durch anhaltendes Kneten oder Drücken davon befreit werden kann, scheidet sich das Schweisseisen von der flüssigen Schlacke und wird von dieser durch mechanische Bearbeitung gereinigt. Die Reinigung der Butter aber ist leichter als die des Eisens zu bewirken, weil sie in gewöhnlicher Temperatur vorgenommen wird und man sich dabei einer zweiten Flüssigkeit, des Wassers, zum Auswaschen bedienen kann.

Das festere, härtere und insbesondere deutlich härtbare,[1]) zugleich aber sprödere schmiedbare Eisen heisst Stahl, das weniger feste, weniger harte, nicht deutlich härtbare, aber dafür geschmeidigere, zähere Eisen heisst Schmiedeeisen (häufig kurzweg Eisen).

Das abweichende Verhalten des Stahls und Schmiedeeisens beruht auf der Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung, insbesondere des Kohlenstoffgehalts: der Stahl ist kohlenstoffreicher, das Schmiedeeisen kohlenstoffärmer. Sind neben Kohlenstoff keine Fremdkörper in erheblichen Mengen zugegen, so liegt die Grenze der deutlichen Härtbarkeit bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 0,5 v. H.; bei der Anwesenheit anderer Fremdkörper (Mangan, Chrom) kann das Metall schon mit niedrigerm Kohlenstoffgehalte Härtbarkeit zeigen und sich auch hinsichtlich seiner Festigkeitseigenschaften wie Stahl verhalten.

Will man diese Sonderung des schmiedbaren Eisens nach seinem mechanischen Verhalten auch bei jener zuerst besprochenen Eintheilung zum Ausdrucke bringen, so würde man Schweissstahl und Schweisseisen (eigentlich Schweissschmiedeeisen), Flussstahl und Flusseisen (Flussschmiedeeisen) unterscheiden können.

Nachstehende Zusammenstellung giebt einen Ueberblick über die sämmtlichen, nach den besprochenen Grundsätzen getrennten Gruppen und Gattungen:

I. Roheisen.

Nicht schmiedbar, spröde, beim Erhitzen plötzlich schmelzend. Gehalt an Kohlenstoff (Silicium, Phosphor u. a.) mindestens 2,6 v. H.

1. *Graues Roheisen.*	2. *Weisses Roheisen.*	3. *Eisenmangane.*
Ein Theil des Kohlenstoffs wird beim Erkalten graphitisch ausgeschieden. Farbe der Bruchfläche grau. In der Giesserei zu Gusswaaren verarbeitet heisst das graue Roheisen Gusseisen.	Der Kohlenstoff bleibt gebunden. Farbe der Bruchfläche weiss. Härter, spröder als graues Roheisen.	Kohlenstoffhaltige Eisenmanganlegirungen mit reichem Mangangehalte. Der Kohlenstoff bleibt gebunden. Farbe der Bruchfläche weiss oder gelblich.

II. Schmiedbares Eisen.

Schmiedbar und in gewöhnlicher Temperatur weniger spröde, als Roheisen. Beim Erhitzen allmählich bis zum Schmelzen erweichend. Gehalt an Kohlenstoff weniger als 2,6 v. H.

1. *Schweisseisen.*		2. *Flusseisen.*	
Im nichtflüssigen, teigartigen Zustande erfolgend. Schlackenhaltig und aus zahlreichen, einzeln entstandenen, zusammengeschweissten Eisenkörnern bestehend.		Im flüssigen Zustande erfolgend. Schlackenfrei.	
a) Schweissstahl.	b) Schweisseisen (Schweissschmiedeeisen).	a) Flussstahl.	b) Flusseisen (Flussschmiedeeisen).
Kohlenstoffreicher (0,5 v. H. und darüber); fest, härtbar.	Kohlenstoffärmer, weniger fest, aber zäher und geschmeidiger, als Schweissstahl; nicht deutlich härtbar.	Kohlenstoffreicher (0,5 v. H. und darüber); fest, härtbar.	Kohlenstoffärmer, weniger fest, aber zäher und geschmeidiger, als Flussstahl; nicht deutlich härtbar.

1) Härtbar wird das Eisen genannt, wenn es durch Erhitzen auf Rothgluth und darauf folgendes rasches Ablöschen in Wasser eine merkliche Steigerung seines Härtegrades erfährt.

Vorstehende Eintheilung, welche im Jahre 1876 bei Gelegenheit der Weltausstellung zu Philadelphia durch einen Ausschuss hervorragender Eisenhüttenleute der bedeutendsten eisenerzeugenden Länder vereinbart wurde, ist seitdem in Deutschland für amtliche Zwecke (z. B. bei Zollerhebung) und in wissenschaftlichen Arbeiten üblich geworden. Nicht verkennen lässt sich jedoch, dass, so bestimmt auch die Grenze zwischen Schweisseisen und Flusseisen gezogen ist, der Unterschied zwischen Stahl und Schmiedeeisen nicht immer bestimmt sich erkennen lässt. Wählt man die Härtbarkeit als Unterscheidungsmerkmal, so lässt sich durch genaue Messungen nicht selten eine Härtezunahme nach dem Ablöschen entdecken, welche der in gewöhnlicher Weise angestellten Beobachtung entgeht, und auch die Auslegung des Wortes „Härte" ist nicht immer gleich. Verschiedene Forscher benutzen verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Härtegrades; eine Vereinbarung darüber fehlt. Wählt man die Festigkeit als Prüfungsmittel,[1]) so kommt in Betracht, dass die Festigkeit eines und desselben Materials infolge von Zufälligkeiten (Verarbeitung in höherer oder niederer Temperatur u. a. m.) mitunter nicht unerhebliche Abweichungen erkennen lässt. Die hieraus sich ergebende Schwierigkeit, die Ausdrücke Stahl und Eisen (Schmiedeeisen) stets genau in dem der besprochenen Eintheilung zu Grunde liegenden Sinne anzuwenden, wird aber noch bedeutend durch den Umstand erhöht, dass man in Grossbritannien, Nordamerika, Frankreich und anderen Ländern seit Einführung der neueren Verfahren für Flusseisenerzeugung sich daran gewöhnt hat, mit dem Ausdrucke „Stahl" *(steel, acier)* alles im flüssigen Zustande erfolgende schmiedbare Eisen — also alles Flusseisen — es mag härtbar sein oder nicht, neben dem härtbaren Schweisseisen, dem Schweissstahle zu bezeichnen, und dass auch der deutsche Gewerbtreibende es liebt, im gewöhnlichen Verkehre jene Benennung anzuwenden. Zahlreiche deutsche Eisenhütten führen den Namen Stahlwerk, obgleich sie nur weiches, nicht härtbares Flusseisen erzeugen; der Name Flusseisenwerk ist ganz ungebräuchlich. Die Erklärung hierfür ist in verschiedenen Umständen zu suchen. Lange Zeit hindurch erzeugte man nur Flussstahl, nicht auch weiches Flusseisen; auch nach Erfindung der neueren Verfahren lernte man erst allmählich das letztere darstellen, dessen Schmelztemperatur noch höher liegt, als die des Stahls. So war es bereits üblich geworden, alles im flüssigen Zustande erfolgende schmiedbare Eisen Stahl zu nennen, als man dazu überging, durch die gleichen Verfahren auch das weichere Metall darzustellen. Die Versuchung aber, den Namen Stahl auch für letzteres beizubehalten, wurde theils durch die grössere Kürze des Wortes, theils durch die Thatsache nahe gelegt, dass man sich seit Jahrhunderten gewöhnt hat, mit jenem Ausdrucke den Begriff von etwas Vorzüglicherem, Werthvollerem zu verbinden. Noch heute pflegt der Laie den Stahl als eine in jeder Beziehung vorzüglichere Abart des Eisens zu betrachten, und manche lächerliche Anwendung des Wortes Stahl beruht auf dieser Anschauung (Stahlquelle, Stahlpillen u. a.).

1) Bei dem Königl. Preussischen Eisenbahnbetriebe z. B. sollen vorschriftsmässig diejenigen Eisensorten als „Stahl" bezeichnet werden, welche eine Zugfestigkeit von mindestens 50 kg auf 1 qmm aufweisen. „Stahl und Eisen", 1889, Seite 198.

Es folgt hieraus, dass der Begriff des Ausdrucks Stahl in jetziger Zeit unbestimmt geworden ist, und dass man nur dann sicher sein kann, ihn richtig zu deuten, wenn man die näheren Umstände berücksichtigt, unter welchen er Anwendung fand. Der besprochenen, in Deutschland amtlich eingeführten Auslegung gemäss wird in Folgendem die Bezeichnung Stahl nur dann benutzt werden, wenn es darauf ankommt, anzudeuten, dass ein kohlenstoffreicheres, deutlich härtbares schmiedbares Eisen gemeint ist, während die Benennung Eisen im allgemeineren Sinne sämmtliche Eisenarten umfasst.

2. Geschichtliches.

Nur in kurzen Zügen kann hier die Entwickelung des Eisenhüttenbetriebes geschildert werden. Ueber die Erfindung und Vervollkommnung der einzelnen Verfahren der Eisendarstellung werden bei deren Besprechung auch die erforderlichen geschichtlichen Angaben gemacht werden; ein gründlicheres Studium der Geschichte des Eisens ermöglichen die am Schlusse des Abschnitts gegebenen Litteraturnachweise.

Die Anfänge der Eisendarstellung sind dunkel und reichen bei den meisten Völkern bis in die vorgeschichtliche Zeit hinauf. Entgegen einer bis vor wenigen Jahrzehnten allgemein verbreiteten, jetzt noch vielfach herrschenden Annahme, dass der Bekanntschaft mit dem Eisen regelmässig eine sogenannte Bronzezeit vorausgegangen sei, unterliegt es neueren Forschungen zufolge keinem Zweifel, dass in Ländern, wo reine Eisenerze vorkamen, auch das Eisen schon vor der Bronze und in der Regel auch vor dem Kupfer bekannt gewesen ist. Denn die Eisendarstellung in ihrer einfachsten Form, wie sie noch heute bei manchen Naturvölkern betrieben wird, bedarf einfacherer Vorrichtungen und Arbeiten, als die Abscheidung des Kupfers aus den meisten seiner Erze; Bronze aber ist, wie bekannt, eine Legirung aus zwei Metallen, Kupfer und Zinn, welche nur sehr ausnahmsweise in unmittelbarer Nachbarschaft vorkommen. Die Bronzedarstellung wurde demnach erst möglich, nachdem man umfassendere Erfahrungen in der Darstellung und Verarbeitung der Metalle erlangt und Handelsbeziehungen angeknüpft hatte, welche den Bezug mindestens eines der beiden Metalle von auswärts ermöglichten.

Dass man stählerne Werkzeuge zur Bearbeitung von Stein, Holz, für den Ackerbau und andere Zwecke bei den Kulturvölkern des Alterthums schon benutzt hatte, noch bevor die Verwendung des Eisens und Stahls für Waffen und Rüstungen allgemeiner wurde, ist unwiderleglich dargethan.[1]) Nicht allein ist es unmöglich, der Bronze einen solchen Härtegrad zu verleihen, dass sie zur Bearbeitung jener harten Gesteine tauglich wurde, welche vielfach das Material für gewaltige Bauten des Alterthums bildeten; auch Funde eiserner Werkzeuge und Geräthe liefern den Beweis für jene Thatsache. Einer der merkwürdigsten Funde dieser Art ist ein Werkzeug, welches beim Lossprengen einiger Steinlagen der grossen Pyramide des Cheops von dem Engländer Hill im Jahre 1837

1) Vergleiche hierüber Beck, Geschichte des Eisens, Band 1, Seite 83, 128, 216, 365 u. a.

in einer innern Steinfuge angetroffen wurde und im britischen Museum aufbewahrt wird.[1])

Wo aber die Bronze bekannt wurde, mag sie für die Verwendungen des häuslichen Lebens, für Anfertigung von Schmuck und dergleichen mehr das Eisen vielfach in den Hintergrund gedrängt haben. Denn ihre Eigenschaften sind unleugbar glänzender als die des Eisens und Stahls: sie ist ausgezeichnet durch prächtige Farbe, Widerstandsfähigkeit gegen die Einflüsse der Feuchtigkeit und ist ausserdem durch Giessen verhältnissmässig leicht verarbeitbar, welche Eigenschaft dem Eisen des Alterthums abging, denn nur Schweisseisen vermochte man damals im regelmässigen Betriebe zu erzeugen. Je mehr aber der Bedarf der Völker an Metall überhaupt stieg, desto wichtiger musste ihnen das Eisen werden, welches seines verbreiteten Vorkommens halber zur Deckung eines Massenbedarfs allein in Frage kommen konnte.

Jedenfalls gebührt nicht einem einzigen Manne oder Volke die Ehre, das Eisen zuerst aus seinen Erzen abgeschieden und die Erfindung über die Erde verbreitet zu haben, sondern es wurde, wie noch jetzt vorhandene Spuren erkennen lassen, in verschiedenen Gegenden bereits von Volksstämmen dargestellt, welche gegenseitig von ihrem Dasein keine Ahnung hatten. Noch heute werden durch Reisende mitunter Völker angetroffen, welche, obwohl von dem Verkehre mit der Aussenwelt abgeschlossen, doch mit der Eisengewinnung in ihrer einfachsten Form sich vertraut zeigen, mit der Bronze oder dem Kupfer aber häufig unbekannt sind.

In den Schriften der meisten geschichtlichen Völker lassen sich deutliche Spuren ihrer Bekanntschaft mit dem Eisen bis zu den Anfängen aller schriftlichen Ueberlieferung hinauf verfolgen. In den Büchern Mosis wird mehrfach des Eisens erwähnt, und Thubalkain, ein Abkömmling Kains im sechsten Gliede, wird ein „Meister in Erz und allerlei Eisenwerk“ genannt, ein Beweis, dass der Erzähler selbst die Kenntniss des Eisens als uralt betrachtet; da aber jene Bücher jedenfalls bald nach dem Auszug der Juden aus Aegypten (1600 v. Chr.) geschrieben wurden, lässt sich folgern, dass auch dort, wo die Juden sich 430 Jahre lang aufhielten, das Eisen um jene Zeit schon bekannt gewesen sein muss. Im Uebrigen erwähnt auch die Hieroglyphenschrift der Aegypter des Eisens.[2]) Nicht selten gedenkt Homer des Eisens und Stahls, und zwar mehr als eines Materials für den Ackerbau und für Gewerbe als für den Krieg, da die Waffen der damaligen Zeit zum Theile aus Bronze gefertigt wurden.[3]) In Italien war das Eisen schon lange vor den Römern bekannt; in einer im Jahre 1853 zu Villanova bei Bologna aufgedeckten Todtenstadt aus voretruskischer

1) Abgebildet in Beck's Geschichte des Eisens, Band 1, Seite 85.

2) Beck, im genannten Werke, Band 1, Seite 93.

3) Dass man zu Homer's Zeit (etwa 1000 v. Chr.) bereits die Härtbarkeit des Stahls kannte und bei der Anfertigung von Werkzeugen davon Anwendung machte, ergiebt sich besonders deutlich aus der Erzählung von der Blendung des Cyklopen Polyphem (Odyssee, 9, 931):

Wie wenn ein kluger Schmied die Holzaxt oder ein Schlichtbeil
Glühend in's Wasser taucht, das laut mit Gesprudel emporbraust,
Härtend mit Kunst, denn das giebt Kraft auf's Neue dem Eisen,
Also zischt' ihm das Aug' um die feurige Spitze des Oelbrands.

Zeit (angeblich aus dem 9. oder 10. Jahrhundert v. Chr.) wurde eine grosse Zahl eiserner Geräthe und Waffen gefunden.[1])

Berühmt war im Alterthum, besonders bei den Griechen, der Stahl der Chalyber, eines Volksstammes am schwarzen Meere im heutigen Armenien; die Bezeichnung *χάλυψ* für Eisen deutet darauf hin, dass jene die Lehrer der Griechen in der Stahldarstellung gewesen seien. Sie galten den Griechen für die Erfinder des Stahls, und verschiedene griechische Schriftsteller erwähnen des dortigen Eisenhüttenbetriebes; nach Xenophon lebte fast der ganze Volksstamm von der Eisendarstellung. Auch die Juden bezogen von dort einen grossen Theil ihrer Stahlwaaren.

Ein ausgedehnter Eisenhüttenbetrieb wurde zur Zeit der Weltherrschaft Roms, als das Eisen bereits das unentbehrliche Material für Waffen, Rüstungen, Ackerbaugeräthe, Handwerkszeug aller Art u. s. w. bildete, in verschiedenen eisenerzreichen römischen Provinzen betrieben, insbesondere in Spanien, Gallien, England, Kärnten, am Rheine; noch jetzt werden in jenen Ländern Schlackenhalden, ja selbst Oefen und Schmelzgeräthe aus der Römerzeit gefunden.[2]) Besonderen Ruf jedoch hatte bei den Römern zu Plinius' Zeit das Eisen der Serer, eines vermuthlich ostasiatischen Volksstammes, welches gemeinschaftlich mit kostbaren Geweben nach Rom gebracht wurde und vermuthlich mit dem heutigen Wootz- oder Damascenerstahle übereinstimmte.

Mit der fortschreitenden Gesittung und dem zunehmenden Gewerbfleisse der Völker wuchs ihr Verbrauch an Eisen; mehr und mehr trat die Bedeutung, welche auch noch im alten Rom die Bronze für zahlreiche Verwendungen besessen hatte, hinter der des Eisens zurück. Immerhin aber blieb die Erzeugung des Eisens auf das Kleingewerbe beschränkt. Man kannte nur eine einzige Eisengattung, das Schweisseisen; es wurde unmittelbar aus den Erzen in niedrigen Oefen oder Feuern gewonnen, in welchen nur wenige Kilogramme die Ausbeute des einmaligen Schmelzens bildeten. Einfache Gebläse waren zwar bei einzelnen Völkern schon seit alter Zeit in Anwendung, aber sie wurden durch menschliche Kraft, gewöhnlich mit Hülfe eines Fusstritts, bewegt. Kraftmaschinen kannte man im Eisenhüttenbetriebe nicht, und hierdurch war von vorn herein die Leistungsfähigkeit des einzelnen Ofens beschränkt Auch die Bearbeitung des Eisens geschah lediglich durch Handarbeit mit Hülfe des Schmiedehammers. Der Schmied, welcher des Eisens für seine Zwecke bedurfte, stellte es sich häufig selbst dar; ja, selbst der Bauer besass nicht selten seine eigene Schmiede, in welcher er das Eisen für seinen Bedarf aus den Erzen darstellte und verarbeitete. Wo das Erz sich fand, pflegte man den Schmelzofen zu errichten; Kohlen lieferten die umliegenden mächtigen Wälder in reichlicher Menge. So entwickelte sich die Zunft der „Waldschmiede", deren in alten Urkunden vielfach gedacht wird. Noch heute findet man als Spuren ihrer Thätigkeit bisweilen alte Eisenschlackenhalden mitten im Walde, aber in der Nähe verlassener Erzgruben.

1) Einiges Nähere: Beck, im genannten Werke, Band 1, Seite 470.

2) Dass in den meisten jener Länder auch schon vor Ankunft der Römer Eisengewinnung betrieben wurde, lässt sich aus gemachten Funden schliessen; aber geschichtliche Nachrichten darüber liegen nicht vor.

In dieser Weise wurde das Eisenhüttengewerbe von den ersten Anfängen an bis gegen Ende des Mittelalters betrieben. Man kann diese ganze Zeit, welche bei manchen Völkern mehrere Jahrtausende umfasst, als den ersten Hauptabschnitt in der Geschichte der Entwickelung der Eisendarstellung bezeichnen. Ausschliessliche Darstellung von Schweisseisen unmittelbar aus den Erzen durch Handarbeit sind die kennzeichnenden Merkmale des Abschnitts.

Im 14. Jahrhundert fing man zuerst an, Wasserkraft, die schon im alten Rom zu Julius Cäsars Zeit zum Betriebe von Mühlen benutzt worden war, auch für den Betrieb von Gebläsen bei Schmelzöfen in Anwendung zu nehmen; tiefgreifende Aenderungen im Eisenhüttenbetriebe, welche den zweiten Hauptabschnitt in der Geschichte des Eisens einleiteten, waren die Folge dieser Einrichtung. Während man früher die Erze an ihrer Fundstätte verhüttet hatte, musste nunmehr das Vorhandensein der Wasserkraft den Ausschlag für die Wahl des Standortes der Hüttenanlage geben. Alte Anlagen mussten kalt gelegt und dem Verfalle übergeben, neue eingerichtet werden. Der ersparten menschlischen Arbeit für den Betrieb des Gebläses standen die bei der Mangelhaftigkeit der Verkehrsmittel gewiss nicht unbeträchtlichen Kosten für die Beförderung der Schmelzmaterialien auf weitere Entfernungen gegenüber. Nicht ohne manches Bedenken werden unsere Vorväter an die neue Betriebsweise herangetreten sein, und erst dann werden sie sich zu diesem Schritte entschlossen haben, als sie durch den mehr und mehr wachsenden Bedarf an Eisen zu einer Ausdehnung ihres Betriebes gezwungen wurden.

Aber noch schwerer wiegende Folgen knüpften sich an die neue Einrichtung. Die Möglichkeit, durch Benutzung der Wasserkraft grössere Windmengen und stärkere Windpressungen als bisher zu erzeugen, gab Veranlassung, die Schmelzöfen zur besseren Wärmeausnutzung und Erzielung einer grösseren Leistung über ihr bisheriges Maass hinaus zu erhöhen; in den grösseren Oefen aber fand vollständigere Reduction und Kohlung statt, und statt des Klumpens schmiedbaren Eisens erhielt man Roheisen, dessen flüssiger Zustand auf seine Verwendbarkeit zur Gusswaarendarstellung hinwies. So begann die gewerbmässige Roheisendarstellung; einen Schritt weiter, und man fand, dass beim wiederholten Umschmelzen der beim Giessen entstehenden Abfälle diese sich allmählich in schmiedbares Eisen umwandelten, wodurch die bis dahin gegebräuchliche Darstellung schmiedbaren Eisens aus den Erzen in den Hintergrund gedrängt und die Bahn für das heutige Verfahren der Eisendarstellung im Grossen gebrochen wurde.

Die Hauptmerkmale dieses zu der angegebenen Zeit beginnenden zweiten Abschnitts der Geschichte des Eisens sind demnach: Verhüttung der Eisenerze in hohen, durch Gebläse betriebenen Schachtöfen (Hochöfen) auf Roheisen und Verwendung des erfolgenden Roheisens theils zur Gusswaarenerzeugung, theils zur Schweisseisendarstellung in besonderen Oefen. Das alte, bis dahin ausschliesslich angewendete Verfahren der Schweisseisenerzeugung aus Erzen trat im Verlaufe dieses Abschnitts von Jahrhundert zu Jahrhundert mehr in den Hintergrund; vollständig erloschen ist es freilich bis heute noch nicht.

Der Verwendung des Eisens aber wurde seit jener Zeit durch die Darstellung von Gusswaaren ein ganz neues umfangreiches Gebiet eröffnet.

Dieser zweite Abschnitt verläuft bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts; aber zahlreiche Erfindungen und Fortschritte, welche hohe Wichtigkeit für den Eisenhüttenbetrieb besassen und dessen Entwickelung mächtig förderten, fallen in seinen Bereich.

So z. B. war Jahrtausende hindurch die Möglichkeit der Eisendarstellung an die Benutzung von Holzkohlen geknüpft; je volkreicher die Länder wurden, desto mehr lichteten sich die Wälder, welche die Holzkohlen geliefert hatten, während der Eisenbedarf wuchs, und mit schwerer Sorge sahen die Regierungen den Folgen dieses Missverhältnisses entgegen. Unter dem Drucke dieser Verhältnisse lernte man im 18. Jahrhundert nach zahlreichen misslungenen Versuchen mineralische Kohlen an Stelle der Holzkohlen benutzen, zunächst nur für die Roheisenerzeugung, dann gegen Ende des Jahrhunderts auch für die Schweisseisendarstellung. Ohne diese Erfindungen, deren Einzelheiten bei Besprechung der besonderen Verfahren Erörterung finden werden, würde das Eisenhüttengewerbe gänzlich ausser Stande gewesen sein, auch nur annähernd seine jetzige Bedeutung zu erlangen.

Nicht minder folgenschwer für den Eisenhüttenbetrieb war die Erfindung der Dampfmaschine in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts.[1]) In mehr als einer Richtung machte alsbald diese Erfindung ihre Bedeutung im Eisenhüttengewerbe geltend. Die Eisenwerke selbst gingen rasch dazu über, die neue Betriebskraft an Stelle der Wasserkraft zu benutzen; sie befreiten sich dadurch von jener Fessel, welche Jahrhunderte hindurch den Eisenhüttenbetrieb an den Lauf fliessender Gewässer gebannt hielt und die Vergrösserung eines Eisenwerkes über das Maass hinaus unmöglich machte, welches durch die Grösse einer vorhandenen Wasserkraft gegeben war. Wo sich Erze und Kohlen in genügender Menge fanden, legte man Eisenwerke an, unbekümmert darum, ob Wasserkraft vorhanden war oder nicht; für den Umfang des Betriebes blieben lediglich kaufmännische Rücksichten maassgebend. Dieser Umstand aber erlangte erhöhte Bedeutung durch die Steigerung des Eisenbedarfs, welche als eine weitere Folge der Erfindung der Dampfmaschine alsbald eintrat. Die gesammte Gewerbthätigkeit blühte mächtig empor; der Maschinenbau gelangte zu nie geahnter Entfaltung und stellte von Jahr zu Jahr weitergehende Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der Eisenwerke. Dennoch würde das Eisenhüttengewerbe niemals jene ungeheure Ausdehnung erlangt haben, welche es in der Jetztzeit besitzt, wenn nicht an die Erfindung der Dampfmaschine sich fünfzig Jahre später eine Anwendung gereiht hätte, welche berufen war, die tiefsten Einflüsse auf Bildung und Wirthschaft der Völker zu üben: die Benutzung des Dampfes zum Eisenbahnbetriebe seit dem Jahre 1825. Ein Netz eiserner Schienen, von Jahr zu Jahr wachsend[2]) und wegen des

1) Die erste betriebsfähige Dampfmaschine wurde zwar schon 1706 durch Denis Papin in Cassel gebaut, aber zu allgemeinerer Anwendung gelangte sie erst, nachdem James Watt 1769 sie wesentlich vervollkommnet hatte.

2) Bereits im Jahre 1894 betrug die Gesammtlänge des Eisenbahnnetzes der Erde nahe an 700000 km, fast doppelt so viel als die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde („Stahl und Eisen“ 1896, Seite 680).

stattfindenden Verschleisses einer stetigen Ergänzung bedürftig, dehnte sich und dehnt sich noch heute allmählich über das bewohnte Festland aus; ausser den Schienen bestehen zahlreiche andere Hülfsmittel des Eisenbahnbetriebes aus Eisen. Die Eisenbahnen selbst aber ermöglichten die Beförderung der Materialien des Eisenhüttenbetriebes und den Absatz der Erzeugnisse auf ziemlich weite Strecken zu verhältnissmässig niedrigen Preisen; so war der Erzeugung und Verwendung des Eisens ein Feld eröffnet, dessen Ausdehnung schwerlich Jemand zuvor geahnt hatte. Ein Bild der Steigerung des Verbrauchs an Eisen seit jener Zeit erhält man durch Ziffern. Die jährliche Eisenerzeugung der Erde betrug im Jahre 1800 825000 Tonnen; im Jahre 1850, also etwa zwanzig Jahre nach der Anlage der ersten Eisenbahn, 4750000 Tonnen;[1]) in der Jetztzeit etwa 31000000 Tonnen. Sie ist im Laufe des neunzehnten Jahrhunderts auf fast das Vierzigfache gewachsen.

Der dritte Abschnitt in der Geschichte der Eisendarstellung beginnt mit der Zeit, wo eine dritte Eisengattung, das Flusseisen, in grösseren Mengen auf den Schauplatz tritt. Kleinere Mengen Flussstahl (Tiegelstahl) wurden schon seit den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts erzeugt; eine Massendarstellung von Flusseisen (und Flussstahl) in solchem Umfange, dass das gesammte Eisenhüttenwesen dadurch wesentliche Umgestaltungen erleiden konnte, wurde erst möglich, nachdem man neuere Verfahren erfunden hatte, welche eine billigere Darstellung als das Tiegelschmelzen ermöglichten. Das Jahr 1860 kann als die Grenzscheide zwischen dem zweiten und dritten Abschnitte bezeichnet werden. Noch stehen wir im Beginne dieses Abschnitts, aber schon lassen sich deutlich jene Umgestaltungen erkennen. Die Roheisendarstellung hat ihre seitherige Bedeutung beibehalten, denn nach wie vor bildet das Roheisen das erste Erzeugniss aus den Erzen, aus welchem in einem zweiten Verfahren erst das schmiedbare Eisen dargestellt wird; aber an Stelle des Schweisseisens ist das in mancher Beziehung vorzüglichere und oft billiger herzustellende Flusseisen getreten. Von Jahr zu Jahr wächst das Verhältniss der Menge des erzeugten Flusseisens zu der des Schweisseisens, und schon jetzt überwiegt ersteres bedeutend. Zahlreiche Flusseisenhütten, sogenannte Stahlwerke, mit oft ungeheurer Leistungsfähigkeit sind entstanden; nicht fern wird voraussichtlich die Zeit sein, wo die in der Jetztzeit unleugbar noch wichtige Schweisseisenerzeugung eine nur noch untergeordnete Bedeutung besitzt. Auch die Gusswaarendarstellung zeigt die Merkmale der neuen Zeit: neben dem Roheisen als Material für die Giesserei erscheint vielfach das bedeutend festere, widerstandsfähigere, wenn auch weniger leicht giessbare und kostspieligere Flusseisen (im sogenannten Stahlguss). Von Jahr zu Jahr wächst der Verbrauch hieran, nachdem die Schwierigkeiten, welche das Verarbeitungsverfahren anfänglich zeigte, überwunden sind, und zu hoher Bedeutung ist das Flusseisen auch auf diesem Gebiete gelangt.

So ist das Eisen im Laufe der Jahrtausende zu dem herrschenden, unentbehrlichsten aller Metalle geworden. Welche Bedeutung es für die Wirthschaft der Völker besitzt, erhellt am deutlichsten aus dem

1) „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 816 (Wedding).

Umstande, dass, obgleich es das billigste aller Metalle ist, doch der Geldwerth des jährlich erzeugten Eisens etwa anderthalbmal so bedeutend ist, als der aller übrigen gewonnenen Metalle — des Goldes und Silbers eingerechnet — zusammengenommen; dem Gewichte nach beträgt die Menge des jährlich dargestellten Eisens etwa das Zwanzigfache von dem Gewichte der übrigen Metalle. Ohne Benutzung des Eisens ist ein höherer Gesittungszustand der Menschheit undenkbar. Uns würden die Werkzeuge fehlen zur Bearbeitung des Steins, den wir für unsere Bauten gebrauchen, die Maschinen zur Anfertigung der hunderterlei Gegenstände, deren tägliche Benutzung uns zum Lebensbedürfnisse geworden ist, die Mittel für den leichten Verkehr der Menschen unter einander, diesen mächtigen Hebel der Volkswohlfahrt und Volksbildung. Dass es diese hervorragende Stellung unter allen Metallen einnimmt, verdankt es in erster Reihe seinen vortrefflichen Eigenschaften, seiner bedeutenden Festigkeit, Verarbeitungsfähigkeit u. a. m., Eigenschaften, welche, wie schon Eingangs angedeutet wurde, sich innerhalb weiter Grenzen regeln lassen; andrerseits auch seinem massenhaften Vorkommen und seiner weiten Verbreitung auf der Erde in Form leicht verhüttbarer Erze, wodurch eine verhältnissmässig billige Erzeugung ermöglicht wird.

3. Die Eisenerzeugung der verschiedenen Länder.

Allgemeines.

Die gesammte Eisenerzeugung[1]) der Erde vertheilt sich im Jahre 1896 folgendermaassen auf die einzelnen Länder:

	Tonnen
Vereinigte Staaten Nordamerikas	8 761 000
Grossbritannien	8 700 000
Deutschland (und Luxemburg)	6 360 000
Frankreich	2 333 000
Russland	1 630 000
Oesterreich-Ungarn	1 130 000
Belgien	930 000
Schweden	466 000
Spanien	246 000
Kanada	42 000
Italien	11 000
Alle übrigen Länder zusammen etwa	391 000
Zusammen:	31 000 000

Der Umfang, welchen die Eisenerzeugung eines Landes erreicht, ist theils von seinem Reichthum an Eisenerzen und Kohlen, insbesondere Steinkohlen,[2]) theils von seinen Verkehrsverhältnissen abhängig. Reich-

1) Unter Eisenerzeugung ist hier Roheisenerzeugung verstanden. Fast alles Erz wird zunächst auf Roheisen verarbeitet, aus welchem dann theils Gusswaare, theils schmiedbares Eisen dargestellt wird. Die Menge des unmittelbar aus Erzen gewonnenen schmiedbaren Eisens ist in der Jetztzeit verschwindend klein und kann deshalb unberücksichtigt bleiben. Die mitgetheilten Ziffern sind der unter Litteratur genannten Schrift Richard P. Rothwell's entnommen.

2) Steinkohlen und die aus ihnen dargestellten Koks bilden den wichtigsten Brennstoff des Eisenhüttenbetriebes der Jetztzeit. Holz und Holzkohlen können, wie schon erwähnt wurde, gegenüber dem Massenbedarfe an Brennstoff für das jetzige Eisenhüttengewerbe nur noch in untergeordnetem Maase in Betracht kommen; Braun-

thum eines Landes an Erzen ohne Kohlen vermag so wenig als der Besitz von Kohlenlagern ohne Erze die Grundlage für einen erspriesslichen Grossbetrieb des Eisenhüttengewerbes zu bilden. Je ausgebildeter aber die Verkehrsmittel eines Landes sind, desto mehr ist der Absatz des erzeugten Eisens erleichtert, und desto geringer ist das Hinderniss, welches durch eine grössere Entfernung der Fundstellen der Erze und Kohlen von einander dem Aufblühen des Eisenhüttengewerbes bereitet wird.

Das wichtigste Hülfsmittel für einen umfangreichen Güterverkehr sind schiffbare Gewässer: das Meer, Flüsse, Kanäle. Eisenbahnen, so unentbehrlich sie in jetziger Zeit für den Verkehr sind, stehen doch der grösseren Kostspieligkeit der Fracht halber für die Massenbeförderung der Güter hinter jenen um so mehr zurück, je mehr die Entfernungen zunehmen. Daher kann in einem Lande, dessen Schätze an Kohlen und Eisenerzen weit von einander entfernt liegen, trotzdem ein Eisenhüttenbetrieb in grossem Maassstabe sich entfalten, sofern Verfrachtung zu Wasser möglich ist; geringer ist die für eine nutzenbringende Verwendung jener beiden Materialien zulässige Entfernung, wenn man nur auf die Beförderung durch Bahnfracht angewiesen ist. Mitunter auch ergänzen sich beide Beförderungsmittel in erspriesslicher Weise.

Wo Erze und Kohlen nicht unmittelbar neben einander sich befinden, pflegt man das Eisenwerk in der Nähe der Fundstätte der Kohlen anzulegen und die Erze nach den Kohlen zu fahren. Eine triftige Veranlassung für diese Wahl des Bauplatzes liegt besonders dann vor, wenn nicht eine einzige Erzsorte, sondern mehrere, in grösseren Entfernungen von einander auftretende Erze gemeinschaftlich verhüttet werden sollen. Man würde in diesem Falle neben der Fracht für die Brennstoffe auch noch diejenige für einen Theil der Erze zu tragen haben, wenn das Werk bei der Gewinnungsstätte eines der Erze errichtet würde. Eine fernere Begründung findet jene Maassnahme durch den Umstand, dass da, wo Kohlen sich finden, auch die Gewerbthätigkeit im Ganzen sich reicher entfaltet, umfänglichere Verkehrsmittel geschaffen werden und durch das Zusammenwirken beider Umstände sich die Handelsverhältnisse für das Eisenwerk günstiger gestalten. Daher findet man in den Ländern, deren Eisenerzeugung auf das Vorkommen mineralischer Kohlen sich stützt, die meisten grösseren Eisenwerke in den Kohlenbezirken zusammengedrängt. Je reicher die Erze sind, desto eher ertragen sie die Verfrachtung auch auf weite Strecken, da die Frachtkosten, bezogen auf die Menge des gewonnenen Eisens, um so niedriger ausfallen müssen, je höher das Ausbringen an Eisen ist.

Etwas anders liegen die Verhältnisse, wenn entweder nur ein einziges, in ausreichender Menge vorkommendes Erz verhüttet werden soll, oder wenn die verschiedenen Erze in unmittelbarer Nachbarschaft sich finden. Hier kommt der Umstand in Betracht, dass man zur Darstellung einer bestimmten Menge Roheisens geringere Gewichtsmengen Kohle als Erz gebraucht und man demnach weniger Fracht zu zahlen

kohlen sind zwar für einzelne Verfahren der Eisendarstellung gut geeignet, nicht aber für die erste Verarbeitung der Erze, die Roheisendarstellung, welche ungefähr die Hälfte des für die Eisendarstellung überhaupt erforderlichen Brennstoffs verbraucht.

hat, wenn man die Verhüttung in der Nähe der Fundstätte der Erze vornimmt, als bei Verfrachtung der Erze nach dem Kohlenbezirke. Verschiedene Eisenwerke sind auf Grund solcher Erwägungen in der Nähe der Erzvorkommnisse, fern von der Kohlenlagerstätte, entstanden und haben sich als lebenskräftig erwiesen.

Von dem Gesammtumfange des Eisenhüttenbetriebes in einem Lande, von den Umständen, welche jenen Umfang bedingen, hängen zum Theil auch die Einrichtungen ab, welche für die Eisendarstellung in Anwendung kommen. In kurzen Umrissen sollen daher in Folgendem die Verhältnisse geschildert werden, welche für die Entwickelung des Eisenhüttengewerbes in den wichtigeren eisenerzeugenden Ländern maassgebend waren.

Vereinigte Staaten Nordamerikas.

Zum ersten Male sind die Vereinigten Staaten im Jahre 1890 an die Spitze der eisenerzeugenden Länder getreten, während bis dahin Grossbritannien diese Stelle innegehabt hatte, und seit 1865 hat sich die Eisenerzeugung jenes Landes verzehnfacht.[1]) Verschiedene Umstände vereinigten sich, diesen Erfolg erringen zu helfen: ein grosser Reichthum an Eisenerzen und Kohlen, ausgedehnte Verkehrsstrassen, zum Theil zu Wasser, der praktische Sinn und die thatkräftige Eigenart der Nordamerikaner und ein durch eine umfangreiche Gewerb- und Bauthätigkeit, insbesondere durch die Anlage zahlreicher Eisenbahnen, veranlasster Massenverbrauch an Eisen;[2]) daneben freilich auch die Abgelegenheit von den europäischen Eisenbezirken und hohe Schutzzölle. Denn nicht ganz leicht ist den Nordamerikanern die Erzeugung eines so billigen Eisens gemacht, dass ein umfänglicher europäischer Wettbewerb fern gehalten werden kann; Erze und Kohlen liegen zum grossen Theil sehr weit aus einander, und die Löhne sind höher als auf europäischen Eisenwerken.

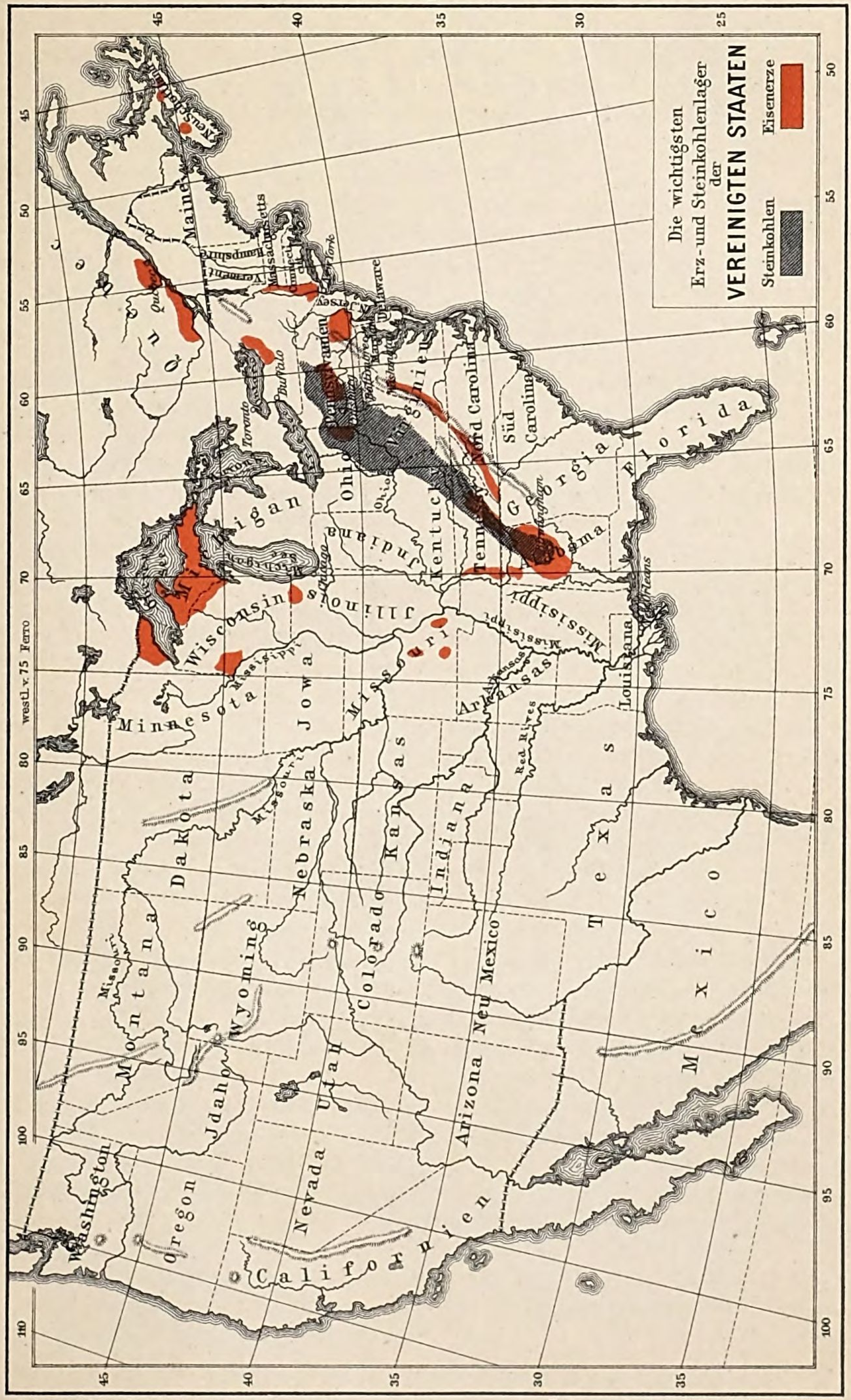
Die gesammte Eisenerzförderung der Vereinigten Staaten betrug im Jahre 1896 15000000 Tonnen, unter diesen allein 12000000 Tonnen Rotheisenerze. 800000 Tonnen wurden von auswärts, insbesondere von Spanien, eingeführt.[3]) Die eigene Gewinnung vertheilt sich auf verschiedene Staaten; die grösste Menge lieferte der Bezirk des Oberen Sees, d. h. die Staaten Michigan, Minnesota und Wisconsin (vergl. Fig. 1). Alle drei Staaten zusammen liefern etwa zwei Drittel der gesammten Erzförderung der Vereinigten Staaten; voran steht Michigan mit nahezu 6000000 Tonnen Jahreserzeugung; dann folgt Minnesota mit fast 4000000 Tonnen. Die dortigen Erze bestehen zum grössten Theile aus eisenreichen und an Phosphor armen Rotheisenerzen, zum geringeren Theile aus Magneteisenerzen. Ein Theil der Erze, und zwar vornehmlich der minder eisenreiche, wird in der Nähe der Fundstellen verhüttet; die reicheren Roth- und Magneteisenerze dagegen, deren Eisengehalt an-

1) Eisenerzeugung 1865 = 845000 Tonnen.

2) Am Schlusse des Jahres 1894 entfielen von dem Eisenbahnnetze der ganzen Erde 42 v. H. auf die Vereinigten Staaten, 36 v. H. auf ganz Europa, 7 v. H. auf Deutschland („Stahl und Eisen“ 1896, Seite 680).

3) Früher von Cuba; durch den dort herrschenden Aufstand wurde die Zufuhr jedoch wesentlich eingeschränkt.

Fig. 1.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

nähernd 65 v. H. beträgt, bilden ein wichtiges Material für die Eisenwerke westlich vom Alleghanygebirge in den Staaten Pennsylvanien, Ohio und Illinois. Ihre Verfrachtung auf diese zum Theil sehr weiten Entfernungen wird durch die Benutzung des Wasserweges auf den mit einander verbundenen Binnenseen (Oberer See, Michigan-See, Huron-See, Erie-See) wesentlich erleichtert. An den ersteren beiden Seen liegen die Einschiffungshäfen (Two Harbors, Ashland, Marquette am Oberen See, Escanaba am Michigan-See), am Erie-See die Ausschiffungshäfen (Cleveland, Ashtabula) für die nach den östlichen Bezirken (Ohio, Pennsylvanien) gehenden Erze.

An zweiter Stelle hinsichtlich des Umfangs der Eisenerzförderung steht der Staat Alabama, welcher ungefähr ein Siebentel der Gesammtförderung liefert. Erst seit etwa zwei Jahrzehnten hat dort, und zwar vornehmlich in der Nähe der Stadt Birmingham, eine umfangreichere Gewinnung Platz gegriffen, welche durch die sehr niedrigen Gewinnungskosten eine wesentliche Förderung erhält, obschon die Erze ärmer an Eisen (etwa 45 v. H. Eisengehalt) und reicher an Phosphor sind, als die vom Oberen See. Etwa zwei Drittel der Erze sind Rotheisenerze (Clintonerze genannt), ein Drittel Brauneisenerze. Sie werden in der Nähe der Gewinnungsorte verhüttet.

Etwa ein Fünfzehntel der Erzförderung wird von Pennsylvanien geliefert, theils Magnet-, theils Roth- und Brauneisenerze; fast die gleiche Menge, und zwar vorzugsweise Brauneisenerze, liefert Virginien. Braun- und Rotheisenerze werden in Tennessee gewonnen, Magneteisenerze in den Staaten New York und New Jersey. Auch in Georgia und Nord-Carolina sowie in Colorado werden nicht unbeträchtliche Mengen von Eisenerzen, grösstentheils Brauneisenerzen, gefördert; minder wichtig ist der Erzbergbau in Ohio, Kentucky, Connucticut, Massachusetts und den sonstigen Staaten.

Den grössten Reichthum an mineralischen Kohlen besitzt unter allen Staaten Pennsylvanien. Im Osten Pennsylvaniens bilden die dort auftretenden Anthracite eine fast unerschöpfliche Quelle des Reichthums an Brennstoffen, im westlichen Theile finden sich mächtige Lager verkokungsfähiger Steinkohle. Von der gesammten Kohlenförderung Nordamerikas, welche im Jahre 1896 etwa 171000000 Tonnen betrug, liefert Pennsylvanien etwa 60 Hunderttheile (im Jahre 1896 103000000 Tonnen, wovon etwa die Hälfte aus Anthraciten besteht. Pennsylvanien zunächst kommt Illinois mit etwa ein Zehntel der Gesammtförderung, ferner Ohio und Westvirginien, deren jeder 8 v. H. der Gesammtförderung liefert. Das Steinkohlenlager der letzteren beiden Staaten erstreckt sich südwestlich durch Kentucky, Tennessee bis Alabama und liefert hier, zumal in dem letztern Staate, verschiedenen Eisenwerken ihren Brennstoffbedarf; sonstige, in verschiedenen Staaten zerstreute Vorkommnisse sind für den Eisenhüttenbetrieb ohne besondere Bedeutung.

Diesen Verhältnissen entsprechend hat sich der Grossbetrieb vornehmlich in Pennsylvanien entwickelt; mit den dort auftretenden Kohlen und Anthraciten verarbeitet man die eigenen Erze und in noch weit grösserem Umfange diejenigen des Oberen Sees. Von der gesammten, oben angegebenen Roheisenerzeugung entfallen allein auf Pennsyl-

vanien etwa 47 v. H. (4000000 Tonnen), auf Ohio 14 v. H., Alabama 11 v. H., Illinois, Michigan und Wisconsin zusammen 14 v. H.

Betrieb mit Holzkohlen besteht noch in Michigan, Wisconsin, Alabama, Tennessee, Missouri und einigen anderen Staaten, wird aber von Jahr zu Jahr mehr eingeschränkt; im Ganzen werden mit Holzkohlen etwa $3^1/_2$ v. H., mit Anthraciten etwa $13^1/_2$ v. H., mit Koks etwa 83 v. H. des gesammten Roheisens erzeugt.[1])

Unter den grösseren, mit mineralischen Kohlen arbeitenden Eisenwerken seien hier erwähnt: Die Edgar Thomson Steel Works bei Pittsburg, der Firma Carnegie Steel Company angehörend; die Cambria Iron Works zu Johnstown; die Bethlehem Iron Works zu Bethlehem; die Pennsylvania Steel Works zu Harrisbury; die Duquesne-Hochöfen am Monongahelaflusse; sämmtlich in Pennsylvanien. Südlich von diesen in der Nähe von Baltimore (Maryland) liegen die Maryland Steel Works zu Sparrow Point; in Illinois bei Chicago die South Chicago Works der Illinois Steel Company. Unter den Eisenwerken in Alabama mögen u. a. die Pioneer-Furnaces zu Thomas in der Nähe von Birmingham, die Sheffield-Furnaces zu Sheffield, Sloss-Furnaces zu Birmingham, Oxmoore-Furnaces zu Oxmoore Erwähnung finden;[2]) in New Jersey die Buffalo-Furnaces zu Buffalo. Grössere, mit Holzkohlen betriebene Werke sind u. a. der Hinkle-Furnace zu Ashland in Wisconsin, der Antrim-Furnace zu Mancelona in Michigan, der Martel-Furnace zu St. Ignace, ebenfalls in Michigan.[3])

Grossbritannien.

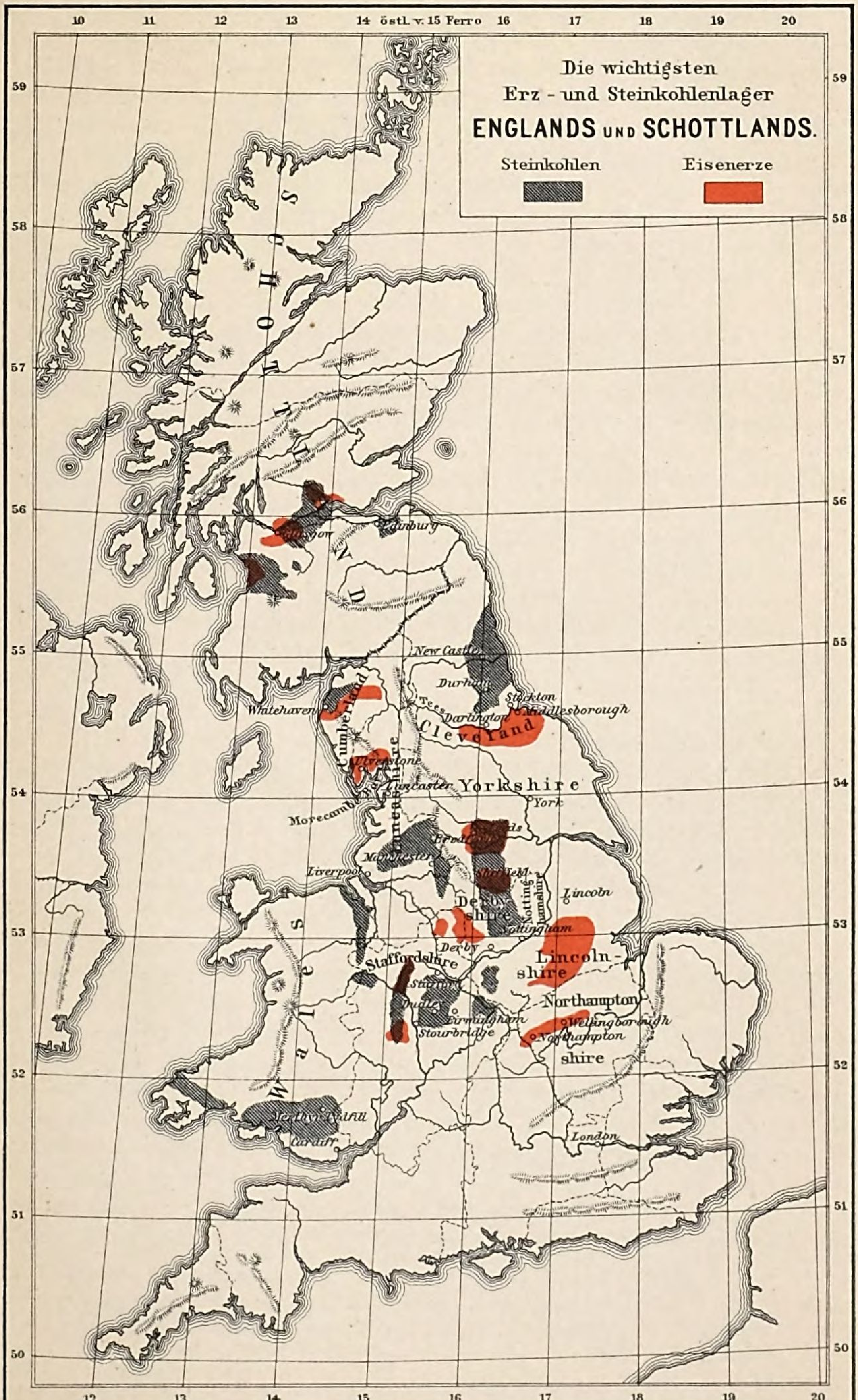
Kein anderes Land der Erde ist von der Natur mit so reichen Hülfsquellen für die Eisenerzeugung bedacht worden als Grossbritannien. Zahlreiche Lager leicht schmelzbarer und zum Theil reicher Eisenerze, mächtige Lager vortrefflicher Steinkohlen sind über das Land verbreitet, und oft finden sich Erze und Steinkohlen nahe bei einander; ein Netz schiffbarer Kanäle und Flüsse in Verbindung mit zahlreichen Eisenbahnen erleichtern den Verkehr der Eisenwerke sowohl mit den Fundstätten der Schmelzmaterialien als auch mit dem das Land rings einschliessenden Meere, welches die Beförderung des Eisens auch auf weite Entfernungen in billiger Weise ermöglicht. So erklärt es sich leicht, dass auch kein anderes Land billigeres Eisen darzustellen vermag, als Grossbritannien, und dass grossbritannisches Eisen im Stande ist, in den fernsten Ländern trotz der oft hohen Schutzzölle mit dem einheimischen Eisen in Wettbewerb zu treten. Daher hatte das Eisenhüttengewerbe in Grossbritannien sich auch weit früher als in anderen Ländern zum

1) Im Jahre 1896 wurden mit Holzkohlen 314000 Tonnen, mit Anthraciten 1163000 Tonnen, mit Koks 7284000 Tonnen erzeugt.

2) Näheres über die Erzvorkommnisse und den Eisenhüttenbetrieb in Alabama: W. B. Phillips, Iron Making in Alabama, Montgomery, 1896; ferner Iron and Coal Trades Review vol. 55 (1897) p. 344 (The mining and metallurgical industries of the Southern States).

3) Ausser den am Schlusse dieses Abschnitts gegebenen Litteraturnachweisen über Statistik des Eisenhüttengewerbes im Allgemeinen sind hinsichtlich der Eisenerzvorkommnisse und Eisenerzeugung Nordamerikas die in Stahl und Eisen 1891, Seite 12, 19, 86 veröffentlichten Reiseberichte deutscher Eisenhüttenleute als lehrreich zu nennen.

Fig. 2.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Grossbetriebe entwickelt, und in zahlreichen Betriebszweigen sind englische Eisenhüttenleute die Lehrmeister für andere Völker gewesen. Eben weil aber Grossbritannien frühzeitiger als andere Länder seine Hülfsquellen in ausgedehntem Maasse benutzte, musste sein Antheil an der gesammten Eisenerzeugung der Erde geringer werden, als nunmehr in jenen anderen Ländern, in erster Reihe in den Vereinigten Staaten Nordamerikas und in Deutschland, der Eisenhüttenbetrieb sich in stärkerem Maasse entwickelte, infolge davon die Gesammterzeugung an Eisen gesteigert und die Ausfuhr aus Grossbritannien erschwert wurde. Während im Jahre 1850 Grossbritannien noch ungefähr die Hälfte alles auf der Erde erzeugten Eisens lieferte,[1]) ist sein Antheil an der Gesammterzeugung im Jahre 1896 auf 28 v. H. heruntergegangen.

Irland nimmt an der Eisenerzeugung Grossbritanniens nur in unbedeutendem Maasse Antheil und kann hier ausser Betracht bleiben. Schottland liefert etwa ein Achtel der Gesammterzeugung Grossbritanniens.

Der Betrieb mit Holzkohlen ist vollständig oder fast vollständig erloschen.

Wenige oder gar keine grösseren Eisenwerke finden sich im Norden Schottlands und im südlichen England, dem Gebiete der Themse, Gegenden, welche arm an Kohlen und nutzbaren Eisenerzen sind. In fast allen übrigen Bezirken Grossbritanniens aber wird die Eisendarstellung in mehr oder minder grossem Umfange betrieben.

Die bedeutendsten Eisenwerke Schottlands liegen auf dem Landstriche zwischen der Mündung des Clyde bei Glasgow an der Westküste bis zur Mündung des Forth an der Ostküste bei Edinburg; Glasgow ist der Haupthandelsplatz für das hier erzeugte Roheisen. Das Material für den schottischen Hochofenbetrieb bilden die in der erwähnten Gegend auftretenden Kohleneisensteine (Blackbands) und thonigen Sphärosiderite; neben diesen, welche zum Theile erschöpft sind, werden in der Jetztzeit ausländische Erze in ziemlich reichlicher Menge verhüttet. Als Brennstoff dienen die ebenda vorkommenden langflammigen, wenig backenden, aber nicht aschenreichen Steinkohlen, welche eine Verkokung nicht gut ermöglichen und deshalb im rohen Zustande verwendet werden.

Hervorragende Hochofenwerke Schottlands sind die Hütten Coltness, Langloan, Gartsherry, Monkland, Glengarnock u. a. m.

Südwestlich von Schottlands Grenze an der Westküste des nördlichen Englands befinden sich in der Umgegend von Whitehaven, des Hauptverschiffungsplatzes dieses Bezirks, die Eisenwerke Cumberlands, welche die bei Whitehaven in Lagern bis zu 15 m Mächtigkeit auftretenden vorzüglichen Rotheisensteine mit den in deren Nachbarschaft gewonnenen Kohlen verhütten.

Südlich von Cumberland, unmittelbar an dieses grenzend, beginnt das ebenfalls durch reiche Vorkommnisse von Rotheisenerzen wichtige Gebiet von Lancashire. In der Umgegend von Ulverstone, nördlich von Lancaster und der Morecambe-Bay bedecken diese theilweise sehr mächtigen Erzlager eine ansehnliche Fläche. Zahlreiche Hochöfen in

1) In dem genannten Jahre betrug die Gesammterzeugung der Erde 4,7 Millionen Tonnen, von denen Grossbritannien $2^1/_4$ Millionen Tonnen lieferte.

Lancashire verhütten theils diese Rotheisenerze, theils die im südlichen Theile dieses Bezirkes auftretenden Sphärosiderite. Cumberland und Lancashire zusammen liefern etwa ein Sechstel der gesammten Eisenerzeugung Grossbritanniens.

Ebenfalls von Bedeutung ist der Eisenhüttenbetrieb in dem weiter südwestlich gelegenen Fürstenthum Wales, insbesondere dem südlicheren Theile in der Nähe der Städte Cardiff und Merthyr-Tydfil. Hier befinden sich die Eisenwerke Dowlais, Ebbw Vale Cyfarthfa u. v. a. Allerdings sind die Erzlagerstätten, welche dereinst den dortigen Werken den grössten Theil ihres Erzbedarfs lieferten, jetzt fast gänzlich abgebaut; aber die Steinkohlenförderung des dortigen Bezirks ist noch erheblich (etwa ein Siebentel der Gesammtförderung Grossbritanniens), und die Lage der Eisenwerke unweit der Küste erleichtert ihnen den Bezug fremder Erze. Die Eisenerzeugung von Wales beträgt ungefähr ein Fünfzehntel der Gesammterzeugung Grossbritanniens.[1])

Nordöstlich von Südwales befinden sich die Gebiete von Staffordshire, Derbyshire, Nottinghamshire und Lincolnshire. Die erstgenannten drei Grafschaften sind reich an Kohlen, und seit lange blühte hier das Eisenhüttengewerbe; berühmt durch seine Eisenwerke war von jeher ein Bezirk in Staffordshire, Black country genannt, mit der Stadt Dudley als Mittelpunkt und den Städten Birmingham, Stourbridge u. a. Zwischen den Kohlenlagern in Staffordshire und Derbyshire traten früher in ausreichender Menge Kohleneisensteine und Sphärosiderite auf, welche auf den umliegenden Werken verschmolzen wurden; aber auch hier zeigt sich die beginnende Erschöpfung der Vorräthe, und insbesondere ist in Derbyshire die Erzförderung unbedeutend geworden. Dagegen liefert Lincolnshire noch reichliche Mengen von Erzen, grossentheils Brauneisenerzen, und ebenfalls findet in der südlich sich anschliessenden Grafschaft Northamptonshire eine ansehnliche Eisenerzförderung statt, gleichfalls aus Brauneisenerzen bestehend, vornehmlich in der Umgegend der Stadt Wellingborough. Lincolnshire und Northamptonshire zusammen liefern etwa ein Fünftel der Erzförderung Grossbritanniens; aber da beide Bezirke arm an Steinkohlen sind, werden die gewonnenen Erze zum Theil in den benachbarten, soeben genannten Steinkohlengebieten verhüttet, und die eigene Roheisenerzeugung beträgt nur ungefähr ein Dreizehntel der Gesammterzeugung.

Das von Derbyshire aus in den südlichen Theil von Yorkshire sich erstreckende Steinkohlenlager enthält in der Umgegend von Sheffield und Bradford auch Eisenerze (Kohleneisensteine, Sphärosiderite); weit grössere Bedeutung aber besitzen zwei im Norden Yorkshires, südlich von dem bei Middlesborough mündenden Teesflusse gelegene Sphärosideritlager, deren grösseres eine Fläche von etwa 52 000 Hektaren bedeckt, eine Mächtigkeit von 2,5 bis 4 m besitzt und den Abbau mit geringen Kosten ermöglicht. Nördlich hiervon, aber nahe genug für bequemen Bezug gelegen, findet sich das berühmte Steinkohlengebiet von Durham und Northumberland, welches zugleich einen für die

1) Näheres über den Eisenhüttenbetrieb in Südwales: Iron and Coal Trades Review vol. 55 (1897), p. 119, 161, 207, 243, 276; auch „Stahl und Eisen“ 1897 Seite 743.

Verhüttung jener Erze gut geeigneten Kalkstein liefert. So hat sich seit dem Jahre 1840, wo die erwähnten Erzlager zuerst als abbauwürdig erkannt wurden, in jener Gegend am Teesflusse, welche Cleveland[1]) genannt zu werden pflegt, der grossartigste Eisenhüttenbetrieb Grossbritanniens entwickelt. Zahlreiche bedeutende Eisenwerke (z. B. Consett, Ferryhill, Clarence, Tees Side, Clay Lane, Ayresome, Newport, Stockton) sind in der Gegend von Middlesborough gelegen, wo die Nähe des Meeres die Handelsverhältnisse begünstigt. Ungefähr ein Drittel der gesammten Roheisenerzeugung Grossbritanniens entstammt diesem Bezirke, während das Verhältniss der geförderten Erze noch etwas beträchtlicher ist.[2]) Daher ist Middlesborough auch der Hauptverschiffungsplatz für das ins Ausland (z. B. nach Deutschland) gehende englische Roheisen, insbesondere Giessereiroheisen.

Trotz des noch vorhandenen Reichthums an Erzen führt Grossbritannien eine nicht unbedeutende Menge fremder Erze ein, zum grössten Theile aus Spanien. Verschiedene, zum Theil schon erwähnte, Umstände sind die Veranlassung dazu. In einigen Bezirken (Schottland, Wales) geht der frühere Erzreichthum zur Neige, und man ist aus diesem Grunde gezwungen, fremde Erze zu verwenden; in anderen Fällen ist die Zusammensetzung der Erze oder ihr Eisengehalt nicht derartig, dass ohne Zusatz fremder Erze eine lohnende Verhüttung oder die Erzeugung eines den Ansprüchen der Käufer entsprechenden Eisens möglich wäre. So z. B. sind die im Clevelandbezirke auftretenden Erze zwar billig zu gewinnen, aber verhältnissmässig arm an Eisen, reich an Thonerde und Phosphor, Bestandtheilen, welche ihre Brauchbarkeit einschränken. Daher werden selbst auf den dortigen Werken neben den einheimischen Erzen ausländische verhüttet, und die Lage der Werke in der Nähe der See erleichtert wesentlich deren Bezug. So erklärt es sich, dass ungefähr ein Viertel des gesammten Bedarfs Grossbritanniens an Eisenerzen aus dem Auslande bezogen wird.[3])

Deutschland und Luxemburg.[4])

Nicht so leicht als den britischen Eisenhüttenleuten war den deutschen die Lösung der Aufgabe gemacht, ihrer Gewerbthätigkeit eine hervorragende Stellung sowohl unter den verschiedenen Gewerbszweigen ihres eigenen Landes als innerhalb des gesammten Eisenhüttenbetriebes der Erde zu sichern. Zwar besitzt Deutschland einige reiche Eisenerzlagerstätten, und der Steinkohlenreichthum ist so bedeutend, dass eine Erschöpfung der noch im Schoosse der Erde vorhandenen Vorräthe früher

1) Auf den gewöhnlichen Karten und in geographischen Handbüchern ist die Benennung Cleveland nicht üblich; dagegen kann man auf genaueren Karten südlich vom Teesflusse eine von Westen nach Osten ziehende Erhebung, die Cleveland Hills genannt, verzeichnet finden.

2) In den statistischen Veröffentlichungen pflegt die Erzförderung ganz Yorkshires einschliesslich des südlichen Theils zusammengefasst zu werden. Sie betrug im Jahre 1894 5,2 Millionen Tonnen, während die Gesammtförderung Grossbritanniens sich auf 12,5 Millionen bezifferte.

3) Im Jahre 1895 betrug der gesammte Erzverbrauch Grossbritanniens etwa 19 000 000 Tonnen, worunter sich 4,4 Millionen Tonnen ausländische Erze befanden.

4) Beide Länder stehen im Zollverbande und sind deshalb gemeinschaftlich erwähnt.

in Grossbritannien als in Deutschland zu erwarten steht. Beide Materialien finden sich aber seltener als in Grossbritannien in unmittelbarer Nachbarschaft, und die geographische Beschaffenheit des Landes vertheuert mehr als dort die Verfrachtung der verschiedenen Materialien zu einander und der Erzeugnisse nach den Absatzgebieten. Ist doch die Wasserfracht von einem der Häfen Grossbritanniens nach der deutschen Küste und von hier auf einem der schiffbaren Ströme hinauf bis zum Herzen Deutschlands, ja selbst bis nach Böhmen, oft kaum bedeutender als die Eisenbahnfracht von einem deutschen Eisenwerke nach derselben Stelle.

In den Vereinigten Staaten walten, wie schon erwähnt wurde, ähnliche Verhältnisse ob; dort aber erleichtern die vorhandenen Wasserstrassen zwischen den Fundstätten der Erze und Kohlen, die grössere Entfernung von anderen eisenerzeugenden Ländern und ein höherer Schutzzoll den Kampf mit dem Wettbewerbe des Auslandes.

Von der gesammten Steinkohlenförderung Deutschlands entfällt auf das Gebiet an der Ruhr in Rheinland-Westfalen etwas mehr als die Hälfte, auf Oberschlesien ein Viertel, auf das Saargebiet ein Zwölftel. Die übrigen Steinkohlen werden, abgesehen von einigen unbedeutenden Vorkommnissen, theils im Königreiche Sachsen (Zwickau), theils in der Gegend bei Aachen gewonnen.[1]) Ziemlich reich ist Deutschland ausserdem an Braunkohlen (insbesondere liefern die preussischen Provinzen Sachsen und Brandenburg solche in beträchtlichen Mengen), welche jedoch für den Eisenhüttenbetrieb nur untergeordnete Bedeutung erlangt haben. Sie sind wasserreich und für Erzeugung hoher Temperaturen wenig geeignet.

Die Eisenerzförderung Deutschlands und Luxemburgs betrug 1896 14,1 Millionen Tonnen. Unter den verschiedenen Erzvorkommnissen verdienen hervorgehoben zu werden:

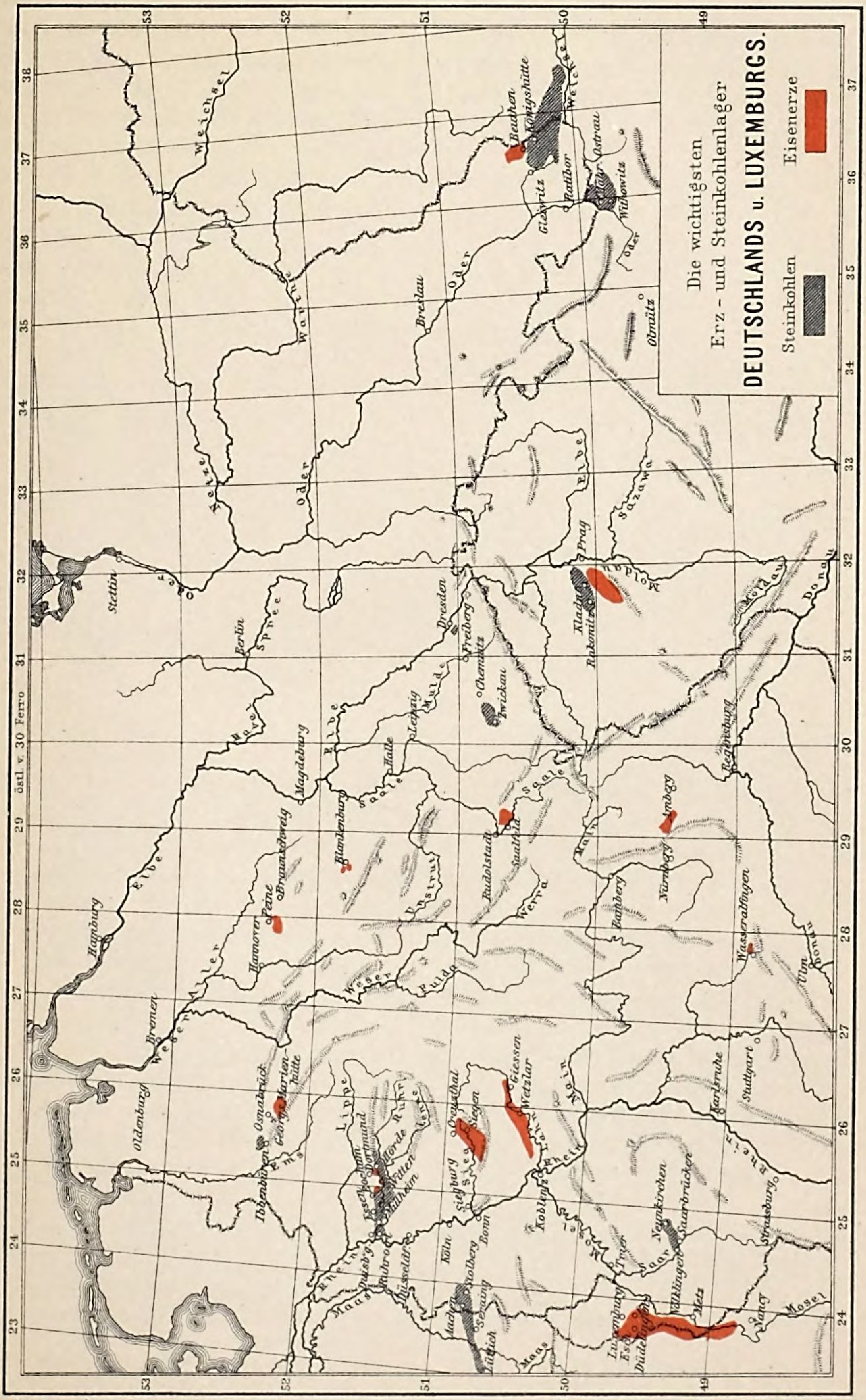
1. Die Minetteerze Lothringens und Luxemburgs, von Nancy bis Luxemburg westlich von der Mosel in einer Mächtigkeit bis zu 20 m sich erstreckend.[2]) Erst seit Anfang der siebenziger Jahre wird dort in grösserem Maassstabe Erzgewinnung betrieben, und jetzt liefert jener Bezirk etwa zwei Drittel aller in Deutschland und Luxemburg geförderten Erze. Sie werden theils in Lothringen (Gross-Moyeuvre, Hayingen, Rombach, Maizières u. a.), theils in Luxemburg (Düdelingen, Esch a. d. Eltz, Eich, Rümelingen, Rodingen u. a.), theils auf den Werken des Saargebietes (Völklingen, Burbacher Hütte, Neunkirchen, Halbergerhütte u. a.) verhüttet, theils auch nach Rheinland-Westfalen versandt, um mit den dortigen Erzen gemeinschaftlich verarbeitet zu werden. Eine erhebliche Menge der geförderten Minette wird ausserdem an die benachbarten französischen und belgischen Eisenwerke ausgeführt.[3])

1) Im Jahre 1896 betrug die Gesammtförderung 85,5 Millionen Tonnen; hiervon entfielen auf das Ruhrgebiet 45,0, Oberschlesien 23,6, das Saargebiet 8,0, das Königreich Sachsen 4,5, das Aachener Gebiet 1,8 Millionen Tonnen.

2) Näheres über dieses wichtige Erzvorkommen in den unter Litteratur genannten Abhandlungen von Wandesleben, Schroedter, Jung, Greven.

3) Im Jahre 1896 betrug die Ausfuhr 2,6 Millionen Tonnen.

Fig. 3.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.
Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

2. Die Spath- und Brauneisenerze des Siegerlandes, welche seit vielen Jahrhunderten die Grundlage für einen ziemlich ausgedehnten Eisenhüttenbetrieb bildeten und in jetziger Zeit theils auf den Eisenwerken des eigenen Bezirks (Geisweid, Creuzthal, Charlottenhütte u. v. a.), theils in Rheinland-Westfalen verhüttet werden.[1]) Die Erzförderung des Siegerlandes beträgt etwa ein Achtel von der gesammten Förderung Deutschlands und Luxemburgs.

3. Die Roth- und Brauneisenerze der Lahn und Dill, zwischen Wetzlar und Giessen bis zum Rhein, etwa ein Fünfzehntel der Gesammterzförderung Deutschlands liefernd. Eins der grössten Eisenwerke des dortigen Bezirks, in welchem ein Theil dieser Erze verhüttet wird, ist die Main-Weserhütte zu Lollar; ein noch grösserer Theil der Erze geht nach Rheinland-Westfalen.

4. Die mulmigen Brauneisenerze Oberschlesiens, auf den oberschlesischen Werken (Königshütte, Laurahütte, Julienhütte, Friedenshütte, Borsigwerk, Donnersmarckhütte u.a.m.) verhüttet. Ihre Gewinnung ist billig, und ihr Vorkommen gab die erste Veranlassung zur Entstehung des oberschlesischen Eisenhüttenbetriebes; aber ihr Eisengehalt ist niedrig, ihre Verhüttung wird durch ihre mulmige Beschaffenheit erschwert, und die vorhandenen Erzlager sind zum Theil erschöpft, sodass die Förderung, welche jetzt ungefähr ein Zwanzigstel von der Gesammterzförderung ausmacht, von Jahr zu Jahr sich verringert und die oberschlesischen Werke gezwungen sind, einen reichlichen Theil ihres Erzbedarfs von auswärts zu decken.[2])

5. Die in der Umgegend von Peine (zwischen Braunschweig und Hannover) auftretenden Bohnerze, deren Vorkommen in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts die Gründung der Ilseder Hütte zu Grossilsede bei Peine veranlasste. Ihre jährlich geförderte Menge beträgt etwa ein Vierzigstel der Gesammterzförderung Deutschlands; ihre Gewinnung ist sehr billig, ihre Zusammensetzung für die Verhüttung günstig.[3])

6. Die in der Gegend von Osnabrück auftretenden Spath- und Brauneisenerze, etwa ein Hundertstel der Gesammtförderung liefernd, auf der Georgs-Marienhütte bei Osnabrück verarbeitet.[4])

7. Die Brauneisenerze der Oberpfalz in der Gegend von Amberg, auf dem Amberger Eisenwerke und der Maxhütte bei Rosenberg verhüttet. Antheil an der Gesammtförderung ungefähr ein Hundertstel.

8. Die Roth-, Braun- und Magneteisenerze des Harzes, in der Gegend von Elbingerode auftretend und auf verschiedenen Harzer Werken theils mit Holzkohlen (Rothehütte, Rübeland, Zorge), theils mit Koks (Blankenburger Hütte) verarbeitet. Auch die in der Gegend von Harzburg sich findenden und in der Mathildenhütte

1) Ueber Erzgewinnung und Eisenhüttenbetrieb im Siegenschen: „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 611; ferner Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1875, Seite 666, 674. Nach der zuletzt genannten Quelle stammen die ältesten schriftlichen Nachrichten über den dortigen Eisenhüttenbetrieb aus dem Jahre 1443.

2) Vergleiche, G. Bremme, Die oberschlesische Berg- und Hütteuindustrie. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 755.

3) Einiges Nähere: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 499; 1888, Seite 367.

4) Näheres über dieses Vorkommen: H. Müller, Der Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein. Osnabrück 1896.

bei Harzburg verhütteten Bohnerze sind hier zu erwähnen. Nicht ganz ein Hundertstel der Gesammterzförderung wird von Harzer Gruben geliefert.

9. Die Spath- und Brauneisenerze Thüringens in der Gegend von Saalfeld (Kamsdorf, Könitz), sowie die in deren Nachbarschaft auftretenden, erst seit Kurzem in Abbau genommenen Sphärosiderite zu Schmiedefeld. Beide Erzgattungen werden auf der Maximilianshütte zu Unterwellenborn verhüttet.

Eisenerzvorkommnisse geringerer Bedeutung finden sich im Ruhrgebiete bei Dortmund, Hörde, Bochum, Witten, wo dereinst das Auftreten von Kohleneisensteinen, thonigen Sphärosideriten, Brauneisenerzen die Entstehung zahlreicher Eisenwerke veranlasste; ferner in der Eifel, im Erzgebirge (Berggiesshübel, Schwarzenberg), im Fichtelgebirge, im Württemberger Jura[1]) und an mehreren anderen Stellen; die in grosser Verbreitung, aber sehr geringer Mächtigkeit auftretenden Rasenerze der norddeutschen Tiefebene (Wittenberg, Niederlausitz) wurden bis zur Mitte der siebenziger Jahre dieses Jahrhunderts auf verschiedenen Werken mit Holzkohlen verhüttet (Gröditz, Lauchhammer, Tangerhütte u.a.), haben aber, seitdem jene Hochöfen zum grössten Theile eingingen, ihre frühere Bedeutung für den Eisenhüttenbetrieb verloren.

Etwa ein Sechstel von der Menge der eigenen Erzförderung wird an fremden Erzen nach Deutschland eingeführt, aus Spanien, Schweden, Algier, Ungarn; dagegen wird, wie erwähnt, ein reichlicher Theil der in Lothringen und Luxemburg gewonnenen Minette nach Belgien und Frankreich ausgeführt, so dass die Gesammtausfuhr an Erzen noch etwas höher sich beziffert als die Einfuhr.

Von der Eisenerzeugung Deutschlands wird in jetziger Zeit nur noch eine sehr kleine Menge (im Jahre 1895 ein Dreihundertstel) mit Holzkohlen gewonnen; die übrige Erzeugung entfällt auf den Betrieb mit Koks. Holzkohlenbetrieb findet sich noch in Oberschlesien, am Harze, im Siegerlande.

Wie in anderen Ländern liegt der Schwerpunkt des deutschen Eisenhüttengewerbes da, wo die meisten Steinkohlen gewonnen werden, also in Rheinland-Westfalen. Eine dichte Gruppe theilweise hochberühmter Eisenwerke drängt sich in dem verhältnissmässig kleinen Dreiecke zwischen den Städten Dortmund, Ruhrort und Düsseldorf als Eckpunkten zusammen (Dortmunder Union, Hörde, Bochumer Gussstahlfabrik, Gutehoffnungshütte in Oberhausen, Schalke, Phönix bei Ruhrort, Rheinische Stahlwerke ebenda, Niederrheinische Hütte, Johanneshütte und Vulkan in Duisburg, Friedrich-Wilhelmshütte bei Mülheim a. d. Ruhr u. v. a.). Sonstige, theilweise bedeutende Eisenwerke finden sich im Gebiete der Inde bei Aachen (Eschweiler); wichtiger noch ist der schon erwähnte Eisenhüttenbetrieb des Siegerlandes östlich und südöstlich von Cöln. Nördlich von Westfalen schliesst sich die Georgs-Marienhütte an. Etwa die Hälfte der Eisenerzeugung Deutschlands wird von den Eisenwerken dieses Be-

1) In Württemberg entstand auf Grund dieser Erzvorkommnisse das Eisenwerk Wasseralfingen. Vergleiche J. Schall, Geschichte des Hüttenwerkes Wasseralfingen. Stuttgart 1896.

zirks geliefert. Die zur Verhüttung gelangenden Erze sind theils schon in Vorstehendem erwähnt worden (Kohleneisensteine und Sphärosiderite Westfalens, Minetteerze Luxemburgs und Lothringens, Roth- und Brauneisenerze von der Lahn, Spatheisensteine aus dem Siegenschen und von Osnabrück); ein anderer Theil wird aus dem Auslande bezogen (spanische Roth- und Brauneisenerze, Magneteisenerze aus Schweden und Norwegen u. a.).

Der nach dem Umfange seiner Roheisenerzeugung an zweiter Stelle stehende Bezirk umfasst die schon erwähnten Eisenwerke Lothringens, Luxemburgs und des Saargebiets, welche zum grössten Theil die oben besprochenen Minetteerze unter theilweisem Zusatze von Siegener- und Lahnerzen mit westfälischem und Saarkoks verschmelzen. Die Gruppe liefert ungefähr ein Drittel des gesammten erzeugten Roheisens, bisweilen auch noch etwas darüber.

An diese Gruppe reihen sich die im Steinkohlengebiete Oberschlesiens zusammenliegenden, zum Theile schon genannten grossen Eisenwerke, welche aus den erwähnten oberschlesischen Brauneisenerzen unter Zusatz von ungarischen Spatheisensteinen, skandinavischen Magneteisenerzen und einigen anderen fremden Erzen ungefähr ein Zehntel der Gesammterzeugung liefern.

Im Steinkohlengebiete Sachsens ist die Königin-Marienhütte bei Zwickau gelegen, welche vorwiegend einige erzgebirgische und vogtländische, an und für sich keine vorwiegende Bedeutung besitzende Erzvorkommnisse verarbeitet.

Verschiedener auf der Fundstätte der Erze gegründeter, in Norddeutschland, Hessen, der Provinz Nassau und in Bayern verstreut liegender Eisenwerke, welche zum Theil hervorragende Bedeutung besitzen, wurde schon bei Besprechung der betreffenden Erzvorkommnisse gedacht (Main-Weserhütte, Ilseder Hütte, Maximilianshütte bei Saalfeld, Maxhütte zu Rosenberg in Bayern, Ambergerhütte u. a. m.).

Frankreich.

Frankreich ist nicht sehr reich an Eisenerzen, und die französischen Eisenhütten haben mit ähnlichen, theilweise mit noch grösseren Schwierigkeiten, als die deutschen zu kämpfen. Wenn es trotzdem den französischen Eisenhüttenleuten gelang, dem Eisengewerbe Frankreichs eine der Grösse und Bedeutung des Landes entsprechende Entfaltung zu verschaffen, so gebührt ihrer Thatkraft und ihrer durch Wissenschaftlichkeit gestützten Umsicht dafür alle Anerkennung.

Rotheisensteine in grösserer Mächtigkeit treten im Departement Ardèche bei dem Orte Privas (Rhonegebiet südlich von Lyon) und westlich davon im Departement Aveyron bei Decazeville auf. Häufiger finden sich Brauneisenerze, in den Pyrenäen als brauner Glaskopf, als mulmiger, gewöhnlich phosphorreicher, Brauneisenstein in der Champagne, als oolithisches Erz und Bohnerz in der Franche-Comté, der Champagne, in Berry, den Ardennen, und weiter nördlich in dem französischen Lothringen bildet die Minette ebenso wie in Deutsch-Lothringen und Luxemburg ein wichtiges Erzvorkommniss. Spatheisensteine treten in den Alpen und Pyrenäen auf, Magneteisenerze sind ziemlich selten.

Im Ganzen ist die Erzförderung Frankreichs nicht ganz ein Viertel so bedeutend als diejenige Deutschlands und Luxemburgs, und die Menge der an der Ostgrenze Frankreichs gewonnenen Minetteerze beträgt drei Viertel der Gesammtförderung. Grosse Mengen fremder Erze (etwa 60 Hunderttheile der eigenen Förderung) werden von auswärts, vorwiegend aus Deutschland und Spanien, eingeführt.

Reicher als an Erzen ist Frankreich an Steinkohlen,[1]) und das Brennmaterial für die Roheisenerzeugung Frankreichs ist deshalb im Wesentlichen Koks. Im Norden erstreckt sich von der Grenze Belgiens in westlicher Richtung durch die beiden Departements Nord und Pas-de-Calais ein Kohlenbecken mit zahlreichen Flötzen (Valenciennes, Anzin), theils anthracitartige, theils gut zur Verkokung geeignete Kohlen enthaltend. Etwas mehr als die Hälfte aller Steinkohlen Frankreichs wird hier gewonnen. Ein zweites Becken, das Burgunder Kohlenbecken findet sich am rechten Ufer der Saône innerhalb des Saône- und Loiredepartements von Autun bis Charolles und enthält Flötze von theilweise bedeutender Mächtigkeit (Creusot, Epinac, Blanzy); wichtiger noch ist ein südlich von diesem im Loiredepartement bei den Städten Lyon, Rive de Gier, St. Etienne gelegenes Becken, welches verschiedene grössere Eisenwerke mit Kohlen und Koks versorgt. Bei Alais im Garddepartement, westlich von dem unteren Laufe der Rhone, finden sich ebenfalls bedeutende Steinkohlenlager, welche besonders den südlichen Eisenwerken die Brennstoffe liefern; auch ein im Allierdepartement westlich vom Flusse Allier bei den Städten Commentry und Bézenet auftretendes Steinkohlenbecken verdient Erwähnung.

Dem geschilderten Vorkommen der wichtigsten Eisenerzlager und Kohlenbecken entsprechend beschränkt sich die Eisenerzeugung Frankreichs vornehmlich auf den östlichen und südöstlichen Theil und ist ziemlich unbedeutend im Westen und Nordwesten.

Eine Gruppe von theils grösseren, theils kleineren Eisenwerken befindet sich in der Nähe der belgischen Grenze im Departement Nord und Pas-de-Calais und verhüttet sowohl die dort auftretenden oolithischen und thonigen Brauneisenerze als auch Erze aus Afrika und Spanien mit Koks aus dem eigenen Bezirke und aus Belgien (Eisenwerke Denain, Anzin, La Providence in Hautmont, Isbergues u. a.). Südöstlich von hier in der Nähe theils von Longwy, theils von Nancy trifft man auf eine zweite noch grössere Gruppe von Hochofenanlagen, welche ebenso wie die benachbarten Werke Deutsch-Lothringens grossentheils Verhüttung der dort auftretenden Minette zum Zwecke haben (Mont-Saint-Martin, Saulnes, Longwy, Réhon, Villerupt, Joeuf u. a., sämmtlich im Bezirk Longwy; ferner Jarville, Pont-Saint-Vincent, Frouard, Pont-à-Mousson u. a. im Bezirk Nancy.[2]) Die Departements Nord und Pas-de-Calais liefern zusammen ungefähr ein Sechstel, das Departement Meurthe und Moselle allein mehr als die Hälfte (im Jahre 1896 62 v. H.) alles in Frankreich erzeugten Eisens.

1) Die Förderung an Steinkohlen betrug 1894 27½ Millionen Tonnen.

2) Einiges Nähere über die Werke der Bezirke Longwy und Nancy: „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 384; Verzeichniss sämmtlicher Hochofenwerke Frankreichs: „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 238.

Kleinere Werke, welche die phosphorreichen Brauneisenerze der Champagne verarbeiten, liegen auf dem linken Ufer der Marne. Grössere Bedeutung als diese besitzen einige im Gebiete der Loire und Rhone gelegenen Werke. Hier befindet sich das grosse Werk Creusot in der Nähe des oben erwähnten Burgunder Steinkohlenbeckens; weiter südlich im Departement le Gard das Werk Bessèges; ganz im Süden bei Marseille das Werk St. Louis, welches grossentheils ausländische (italienische, spanische, algierische) Erze verhüttet.

Russland.

Jenes Hemmniss für das lebhafte Aufblühen der Eisenindustrie in anderen erzreichen Ländern, die grossen Entfernungen zwischen der Lagerstätte der Erze und derjenigen mineralischer Brennstoffe oder auch zwischen dem Erzeugungsorte und dem Verbrauchsorte des Eisens bei beschränkten Verkehrsmitteln, zeigt in Russland deutlich seinen Einfluss. Russland ist reich an Eisenerzen; Holz ist an manchen Orten noch im Ueberfluss vorhanden, Steinkohlenlager von theilweise bedeutender Ausdehnung und Mächtigkeit sind in einigen Gegenden aufgeschlossen. Die grossen Entfernungen aber, sowohl zwischen einzelnen dieser Vorkommnisse und den Küstengebieten, wo naturgemäss der lebhaftere Handel auch einen stärkeren Eisenverbrauch mit sich bringt, als auch zwischen den in erster Reihe wichtigen Fundstätten der Erze und denen der Mineralkohlen erschwert die ausgiebige Verwerthung dieser Reichthümer. Durch den Bau von Eisenbahnen und Vervollkommnung der Wasserverbindungen hat man in den letzten Jahrzehnten diese Schwierigkeiten abgemindert, durch einen hohen Schutzzoll hat die russische Regierung den Wettbewerb des Auslandes erheblich eingeschränkt; so ist es gekommen, dass Russland, welches unter den eisenerzeugenden Ländern im Jahre 1890 noch an siebenter Stelle stand, inzwischen seine Eisenerzeugung auf mehr als das Doppelte erhöht hat und infolge davon an die fünfte Stelle aufgerückt ist.

Besonders reich an Eisenerzen ist der Ural. Mächtige Lager von Magneteisenerzen finden sich in den Regierungsbezirken Perm und Orenburg; der Ort Visokaja-Gora im Permer Bezirk liefert allein jährlich etwa eine halbe Million Tonnen vortrefflicher Magneteisenerze an verschiedene umliegende Eisenhütten. Auch Lager hochhaltiger Brauneisenerze werden an verschiedenen Stellen des Ural abgebaut (Jekatherinenburg, Ir-Kiskau u. a. a. O.). Die Erze werden mit Holzkohlen in zahlreichen, zum Theil bedeutenden Eisenwerken verhüttet, und die Eisenerzeugung des Ural beträgt in der Jetztzeit etwas über ein Drittel der Gesammterzeugung Russlands (im Jahre 1895 = 551000 Tonnen). Jüngere Brauneisenerze und Sphärosiderite, häufig phosphorhaltig, werden in den südlich von Moskau gelegenen Bezirken (Tula, Kaluga, Orlow, Tambow u. s. w.) gewonnen; Rasenerze sind sehr verbreitet in verschiedenen Bezirken; Eisenglanz findet sich am Tulmsee, 42 km vom Ladogasee entfernt, in der Nähe der Grenze Finnlands. Auch diese Erze werden in verschiedenen kleineren oder grösseren Werken mit Holzkohlen verschmolzen.

Grössere Bedeutung als die zuletzt erwähnten Erze hat jedoch in den letzten Jahren ein in der Nähe der Stadt Krivoi-Rog im Süden

Russlands (Gouvernement Cherson) aufgeschlossenes Lager reicher, mit geringen Kosten zu gewinnender Rotheisenerze gewonnen, welches in einer Breite von ungefähr $7\frac{1}{2}$ km und einer Länge von etwa 55 km sich von Norden nach Süden erstreckt und bereits jetzt fast die Hälfte aller in Russland geförderten Eisenerze liefert.[1]) Nordöstlich von diesem Erzlager, etwa 450 km davon entfernt, findet sich das wichtigste Steinkohlenlager Russlands, das Donezbecken, nördlich vom asowschen Meere, westlich vom Flusse Donez durch den südlichen Theil des Gouvernement Charkow, des Gouvernement Jekaterinoslaw und das Land der donischen Kosaken sich erstreckend. Es bedeckt eine Fläche von 30 000 qkm, ungefähr so gross als das Königreich Belgien, und ist das ausgedehnteste Steinkohlenlager ganz Europas. In dieser Gegend, und zwar theils in dem Steinkohlen-, theils in dem Erzbezirke, theils auch in der Mitte dazwischen, entwickelte sich, nachdem man angefangen hatte, Eisenbahnen in grösserem Umfange zu bauen, verhältnissmässig rasch ein umfänglicher Eisenhüttenbetrieb; schon jetzt hat die Eisenerzeugung dieses Bezirkes die des Urals überholt, und sie wird voraussichtlich von Jahr zu Jahr eine fernere Steigerung erfahren. Hier liegt demnach in der Jetztzeit und voraussichtlich auf lange Zeit hinaus der Schwerpunkt des russischen Eisenhüttenbetriebes. Bedeutende Hüttenwerke des Steinkohlengebietes finden sich in Youzowo und Droujkowka; zwischen dem Kohlen- und Erzgebiete liegen die Werke von Kamenskoje und Jekaterinoslaw; im Erzgebiete Krivoi-Rog.[2])

Ein zweites Steinkohlenbecken findet sich in Polen, an das oberschlesische Becken sich anschliessend, und hat hier ebenfalls zur Entstehung einiger grösseren Eisenwerke (z. B. Huta Bankowa) Veranlassung gegeben, obgleich die Eisenerze nach dorthin zum grossen Theil aus der Ferne (Südrussland, Ungarn) bezogen werden müssen. Von der Gesammteisenerzeugung Russlands liefert Polen ungefähr ein Achtel.

Während noch in den achtziger Jahren dieses Jahrhunderts das Verhältniss des mit mineralischen Brennstoffen gewonnenen Eisens zu dem mit Holzkohlen erzeugten ziemlich unbedeutend war, hat das erwähnte Aufblühen des südrussischen Eisenhüttenbetriebes die Folge gehabt, dass in der Jetztzeit ungefähr die gleiche Menge Eisen mit jeder der beiden Brennstoffgattungen gewonnen wird. Die Zeit wird nicht fern sein, wo das mit mineralischen Brennstoffen dargestellte Eisen das Holzkohleneisen bedeutend überwiegt.

Oesterreich-Ungarn.

Aehnliche Schwierigkeiten wie in Russland setzen sich einer umfänglichen Entwickelung des österreichisch-ungarnschen Eisenhüttenbetriebes entgegen. Zwar besitzen Oesterreich und Ungarn einzelne, durch Mächtigkeit und durch Reinheit von schädlichen Bestandtheilen ausgezeichnete Erzlagerstätten; nur vereinzelt dagegen und weit von den wichtigeren Erzlagern entfernt treten mineralische Brennstoffe auf,

1) Im Jahre 1885 gewann man 25 000 Tonnen Erz; im Jahre 1894 war die Förderung auf 880 000 Tonnen gestiegen.

2) Näheres über diesen Bezirk in den unter Litteratur genannten Abhandlungen.

welche mit Vortheil für die Verhüttung der Erze benutzt werden könnten. Diese Schwierigkeiten werden durch die Lage der genannten Länder und die theilweise noch beschränkten Verkehrsverhältnisse, insbesondere den Mangel geeigneter Wasserverbindungen, erhöht; so erklärt es sich leicht, dass die Menge des in Oesterreich-Ungarn erzeugten Eisens nicht ganz so beträchtlich ist, als man im Hinblick auf die Erzvorkommnisse anzunehmen geneigt sein dürfte, obgleich Oesterreichs Eisenerzeugnisse zu den vorzüglichsten der Erde gehören und die Einrichtungen einzelner österreichischer Werke die Beachtung aller Fachleute verdienen.

In Oesterreich wurden in den letzten Jahren alljährlich etwa 1,2 Millionen, in Ungarn 800 000 Tonnen Erze gefördert. Unter den Erzvorkommnissen Oesterreichs besitzt das Spatheisensteinlager des Steirischen Erzbergs zwischen den Städten Eisenerz und Vordernberg die grösste Bedeutung. Die Mächtigkeit des Lagers erreicht 150 m; schon zu der Römerzeit wurde hier Bergbau getrieben, und in der Jetztzeit versorgt der Erzberg nicht nur sämmtliche steirische Eisenwerke, sondern auch entfernter liegende Werke des In- und Auslandes mit Erzen. Von der Gesammterzförderung Oesterreichs (ohne Ungarn) liefert der steirische Erzberg reichlich die Hälfte.[1])

Für den Eisenhüttenbetrieb Kärntens liefert ein bei Hüttenberg auftretendes Lager von Spath- und Brauneisenerzen, der Kärntnische Erzberg genannt, das Material. Die Förderung ist bedeutend geringer als die des steirischen Erzbergs und beträgt ungefähr ein Fünfzehntel der Gesammterzförderung.

In Böhmen ist vornehmlich das Nucicer Erzlager in der Gegend von Prag und Kladno von Bedeutung für die dortigen Eisenwerke. Es erstreckt sich in einer Länge von 8 km und erreicht an einzelnen Stellen eine Mächtigkeit von 18 m. Die Erze sind thonige Sphärosiderite und Brauneisenerze, zwar nicht sehr reich und mitunter durch unerwünschte Fremdkörper stark verunreinigt, aber billig zu gewinnen. Etwa ein Drittel der gesammten Erzförderung Oesterreichs entstammt diesem Lager.

Erzvorkommnisse geringerer Bedeutung finden sich in Mähren und Schlesien.

Nur zwei Bezirke Oesterreichs liefern Steinkohlen in solcher Menge und von solcher Beschaffenheit, dass ihr Vorkommen für den Eisenhüttenbetrieb von Bedeutung geworden ist. In Oesterreichisch-Schlesien und Nordmähren in der Umgegend von Mährisch-Ostrau findet sich das Ostrau-Karwiner Becken; in Böhmen bei Rakonitz und Kladno in unmittelbarer Nachbarschaft des erwähnten Nucicer Erzlagers das böhmische Steinkohlenbecken (vergleiche oben Figur 3). Beide liefern ungefähr die gleiche Menge Steinkohlen; während aber die Kohlen des zuerst genannten Beckens gut verkokungsfähig und aus diesem Grunde für die Verhüttung von Erzen gut geeignet sind, besitzen die böhmischen Kohlen jene Eigenschaft in geringerem Maasse

1) Näheres über den steirischen Erzberg und den dortigen Betrieb: F. Kupelwieser, Ueber die Bedeutung des steiermärkischen Erzberges. Sonderabdruck aus der Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1893, Nr. 22.

und haben sich deshalb für den erwähnten Zweck als weniger brauchbar erwiesen, für andere Zwecke des Eisenhüttenbetriebes werden sie dagegen in reichlicher Menge benutzt.

Gross ist der Reichthum Oesterreichs an vortrefflichen Braunkohlen, welche zwar nicht für die Erzverarbeitung, wohl aber für sonstige Verfahren der Eisendarstellung Verwendung finden können und zum Theil selbst nach deutschen (insbesondere sächsischen) Eisenwerken geliefert werden. Ihre Förderung ist etwa doppelt so gross als die an Steinkohlen. Die mächtigsten Lager besitzt Nordböhmen; auch in Steiermark werden Braunkohlen gewonnen und für den Eisenhüttenbetrieb verwendet.

Während in früherer Zeit Steiermark an der Spitze aller eisenerzeugenden Länder Oesterreichs stand, ist jetzt Mähren an dessen Stelle getreten, wo das erwähnte Vorkommen von Steinkohlen die Entwickelung des Eisenhüttenbetriebes fördert. Hier befindet sich das grösste Werk Oesterreichs, Witkowitz, dessen Erzeugung allein etwa ein Viertel der Gesammterzeugung Oesterreichs ausmacht, während alle mährischen Werke zusammen ungefähr ein Drittel liefern. Die zur Verhüttung kommenden Erze werden grösstentheils aus Ungarn und Schweden bezogen; nur einen kleinen Theil liefert Mähren selbst.

An zweiter Stelle steht Böhmen, dessen Eisenerzeugung etwas mehr als ein Viertel der Gesammterzeugung beträgt. Die bedeutendsten böhmischen Eisenwerke sind Kladno und Königshof, beide in der Nähe der erwähnten Erz- und Kohlenlager gegründet.

Steiermark nimmt die dritte Stelle ein und liefert etwas weniger als ein Viertel der Gesammterzeugung. Die weite Entfernung von den Steinkohlenbezirken und der zunehmende Holzkohlenmangel hat hier trotz des Reichthums an Eisenerzen die Verhältnisse für den Eisenhüttenbetrieb immer schwieriger gestaltet. Einige Werke, z. B. in Vordernberg, Eisenerz, Trofaiach arbeiten noch mit Holzkohlen; andere (Donawitz, Zeltweg, Hieflau) sind zum Betriebe mit Koks übergegangen, welche mit Bahnfracht aus Westfalen und Schlesien bezogen werden. Auch in Schwechat bei Wien werden steirische Erze mit fremdem Koks verhüttet. Aehnlich liegen die Verhältnisse in Kärnten, welches nur ungefähr ein Zwanzigstel der Gesammterzeugung liefert. Ziemlich unbedeutend ist die Eisenerzeugung in Tirol, Salzburg, Krain und anderen Kronländern.

In Ungarn finden sich an verschiedenen Stellen Erze von vorzüglicher Beschaffenheit, vornehmlich Spatheisensteine und die aus deren Zersetzung hervorgegangenen Brauneisensteine. Im Norden sind vornehmlich die aneinander grenzenden Komitate Sohl (ungarisch Zólyom) Zips (Szepes), Aban-Tornaj, Gömör und Borsod reich an jenen Erzen, deren Lager an einzelnen Stellen eine Mächtigkeit von über 30 m erreichen (Gömörer Erzberg, ungarisch Vashegy)[1]. Im südlichen Ungarn ist an erster Stelle Siebenbürgen reich an Eisenerzen; der im Komitate Hunyad sich erstreckende Gebirgszug Pojana-Ruszka birgt die bedeutenden Brauneisenerzlager Ungarns, welche zum Theil eine

1) Näheres über die Erzgewinnung im Gömörer Komitate: „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 885.

Mächtigkeit bis 150 m erreichen. In dem an Hunyad angrenzenden Komitate Krassó-Szörény werden Magneteisenerze gewonnen.

Steinkohlenlager werden in verschiedenen Gegenden abgebaut (Fünfkirchen im Komitat Baranya, ferner im Komitat Krassó-Szörény und in Salgó Tarjan im Komitat Neograd), aber es fehlt ihnen entweder die erforderliche Mächtigkeit oder die erforderliche Beschaffenheit, um die Entwickelung eines ausgedehnten Betriebes zu ermöglichen. Reicher ist Ungarn an Braunkohlen (Komitate Neograd, Borsod, Krasso-Szörény u. a.), welche auf verschiedenen Eisenwerken Verwendung finden.

Von den im Norden gewonnenen Erzen wird ein Theil nach den in Mähren (Witkowitz), Schlesien und Oberschlesien belegenen Eisenwerken versandt, ein anderer Theil auf den in der Nähe der Fundstätten belegenen Eisenwerken (Likér, Tiszolcz, Szalócz, Krompach, Sztraczena u. a.) theils mit Holzkohlen, theils auch mit oberschlesischem und ostrauer Koks verschmolzen. Auch auf den in der Nähe der südlichen Erzgruben belegenen Eisenwerken erfolgt der Betrieb noch grossentheils mit Holzkohle; verschiedene Werke betreiben einzelne Oefen mit Koks und andere mit Holzkohlen (Vajda-Hunyad, Kalán u. a. in Hunyad, Reschitza, Anina u. a. in Krasso-Szörény.[1])

Von der Gesammteisenerzeugung Oesterreich-Ungarns liefert Ungarn ungefähr ein Drittel.

Belgien.

Günstige Verkehrsverhältnisse, Reichthum an Steinkohlen und daneben ein allerdings beschränktes Vorkommen von Eisenerzen liessen in Belgien einen im Verhältnisse zu der Grösse des Landes bedeutenden Eisenhüttenbetrieb emporblühen. Jene früher (Seite 22) erwähnten Minettelager Lothringens und Luxemburgs senden ihre Ausläufer bis nach Belgien hinein; Roth- und Brauneisenerze fanden sich, zum Theil in ansehnlicher Mächtigkeit, im Gebiete der Maas und nördlich von Namur bis Ligny, sind aber in den letzten Jahrzehnten zum grossen Theile abgebaut. Die Gesammtmenge der im eigenen Lande gewonnenen Erze[2]) beträgt nur ungefähr ein Neuntel von der Menge der verhütteten. Die übrigen Erze werden aus den benachbarten Minettebezirken sowie aus Spanien, Algier, Schweden eingeführt, und wenn auch diese Einfuhr durch die Nähe des Meeres erheblich erleichtert ist, so erklärt sich doch aus diesem Mangel an eigenen Erzen die Thatsache, dass in den letzten Jahren Belgiens Eisenerzeugung nicht in dem Verhältnisse wie diejenige anderer Länder zugenommen hat. Während bis 1889 Belgien unter den eisenerzeugenden Ländern an fünfter Stelle sich befand, ist es seit 1890 hinter Oesterreich-Ungarn und Russland zurückgeblieben.

1) Eingehendere Mittheilungen über die Vorkommnisse an Eisenerzen und Kohlen in Ungarn enthält das Buch: Der tausendjährige ungarische Staat und sein Volk, von Jekelfalussy, Budapest 1896, Seite 566; auch Jahrbuch der k. k. Bergakademien 1896, Seite 387, 419, 440; Iron and Coal Trades Review vol. 55 (1897) p. 812 (letzterer Bericht auch im Journal of the Iron and Steel Institute 1897 II). Vergleiche ferner Litteratur.

2) Etwa 300 000 Tonnen oder wenig darüber.

Die für den Eisenhüttenbetrieb Belgiens benutzten Steinkohlen liefert das auch im Nordosten Frankreichs auftretende, oben erwähnte Becken, welches als schmaler Streifen vom Nordabfalle der Ardennen das Maasthal entlang über Namur, Lüttich quer durch ganz Belgien hindurch bis nach Rheinpreussen hinein sich erstreckt. In diesem Landstriche, wo zugleich ein Netz zahlreicher Eisenbahnen und schiffbarer Gewässer den Verkehr erheblich erleichtert, finden sich die wichtigsten Eisenwerke Belgiens (Seraing, Ougrée, Espérance, Tilleur-Sclessin, sämmtlich bei Lüttich, weiter südwestlich bei Charleroy Providence, Monceau u. a. m.).[1]

Schweden.

Die für den Umfang des schwedischen Eisenhüttenbetriebes maassgebenden Verhältnisse sind denen des Urals, der österreichischen Alpenländer, auch Ungarns, insofern ähnlich, als auch Schweden reich ist an vorzüglichen Eisenerzen, während mineralische Brennstoffe fast vollständig fehlen.[2] Es kommt hinzu, dass der Besitz der ausgedehnten Erzlagerstätten zum Theil zersplittert ist, wodurch ihre Ausbeutung im Grossen — etwa unter Benutzung fremder Koks — erschwert wird. Aus diesem Grunde ist Holzkohle, unter Umständen in Gemeinschaft mit rohem Holze, das für die Roheisendarstellung fast ausschliesslich benutzte Brennmaterial; nur vereinzelt setzt man den Holzkohlen Koks zu.

Die für die Eisenerzeugung des eigenen Landes wichtigsten Erzvorkommnisse finden sich in einem Gebiete, welches sich zwischen dem 59. und 61. Breitengrade von Nordost nach Südwest erstreckt; die innerhalb dieses Gebietes liegenden Provinzen Kopparberg, Oerebro, Westmanland, Wermland und Upsala sind vornehmlich durch Erzreichthum ausgezeichnet. Die hier auftretenden Erze bestehen hauptsächlich aus Magneteisenerzen, zum geringeren Theile aus Eisenglanz und Rotheisenstein, und man pflegt diese Erzgattungen in Schweden mit dem gemeinschaftlichen Namen Bergerze zu bezeichnen; See- und Rasenerze werden in Småland gewonnen. Die erwähnten Bergerze sind zum Theil ausgezeichnet durch geringen Phosphorgehalt; seiner Reinheit von Phosphor und der hierauf beruhenden grossen Zähigkeit verdankt das schwedische Eisen eine Berühmtheit, die ihm, sowohl dem Roheisen als dem schmiedbaren Eisen, auch im Auslande Verbreitung gesichert hat. Phosphorhaltige Magneteisenerze (z. B. von Grängesberg in Kopparberg) werden auch ausserhalb Schwedens (insbesondere in Deutschland) ihres hohen Eisengehaltes halber in solchen Fällen mit Vorliebe verwendet, wo der Phosphorgehalt keinen Nachtheil bringt oder sogar erwünscht ist (Thomasroheisendarstellung).

In jenem Gebiete und den angrenzenden Provinzen hat sich naturgemäss der schwedische Eisenhüttenbetrieb vornehmlich entwickelt. Domnarfet, das grösste schwedische Werk, liegt in Kopparberg, zahlreiche

1) Einiges Nähere: Journal of the Iron and Steel Institute 1894, II, p. 7, 11.

2) Steinkohlen werden im südlichsten Theile Schwedens (Schonen) im Betrage von etwa 220 000 Tonnen jährlich gefördert.

andere grössere oder kleinere Werke ebenfalls in Kopparberg, Oerebro und den angrenzenden Provinzen.[1])

Von der Gesammteisenerzeugung Schwedens liefert die Provinz Kopparberg etwas über ein Viertel (1895 = 27,6 v. H.), Oerebro ein Viertel, Gefleborg ein Siebentel, Wermland ein Zehntel.

Von grosser Bedeutung für die Gewinnung von Erzen, welche für die Ausfuhr (nach Deutschland, Grossbritannien, Oesterreich) bestimmt sind, ist seit dem Jahre 1880 ein Erzvorkommen in Lappland, Provinz Norbotten, geworden. Es besteht aus reichen, zum Theil phosphorarmen, zum Theil phosphorreicheren Magneteisenerzen in der Nähe des Ortes Gellivara unter 67° 6' nördlicher Breite, besitzt eine Längenausdehnung von etwa 10 km und erreicht an einzelnen Stellen eine Mächtigkeit von mehr als 100 m. Durch eine 220 km lange Bahn ist Gellivara mit dem am Bottnischen Meerbusen gelegenen Hafenorte Luleå verbunden, wo die Verschiffung nach dem Auslande erfolgt. Mit dem genannten Jahre hat die Förderung von Gellivaraerzen stetig zugenommen, sodass sie bereits etwa ein Drittel der Gesammterzförderung Schwedens beträgt. Vorwiegend sind deutsche Eisenwerke die Abnehmer dieser Erze.[2])

Spanien.

Spanien ist ein erzreiches Land und nimmt unter den eisenerzfördernden Ländern die vierte Stelle ein. Von der Gesammterzförderung der Erde liefert Spanien mehr als ein Zehntel, fast so viel als Oesterreich-Ungarn, Russland und Schweden zusammengenommen (im Jahre 1895 $5^1/_2$ Millionen Tonnen). Wenn trotzdem die Eisenerzeugung Spaniens nicht bedeutend ist und weit hinter derjenigen der genannten Länder zurücksteht, so findet diese Thatsache theils in den wirthschaftlichen und politischen Verhältnissen des Landes, vornehmlich auch in dem Umstande ihre Erklärung, dass mineralische Brennstoffe, welche zur Verhüttung der Erze geeignet wären, nur in beschränkten Mengen (Oviedo in Asturien) gewonnen werden. Ungefähr fünf Sechstel der gesammten geförderten Erze gelangen zur Ausfuhr nach Grossbritannien, Belgien Frankreich, Deutschland, Nordamerika; nur ein Sechstel wird im eigenen Lande verhüttet.

Die wichtigste Provinz für die Erzgewinnung ist Biscaya. Hier, und zwar vornehmlich in den Bezirken Somorrostro und Matamoros, werden etwa acht Zehntel aller spanischen Erze gefördert, um von dem Hafenplatze Bilbao aus versandt zu werden. In der Umgegend von Bilbao befinden sich auch die bedeutendsten Eisenwerke Spaniens (Bis-

1) Im Ganzen waren im Jahre 1895 125 verschiedene Eisenwerke mit der Eisenerzeugung aus Erzen beschäftigt („Stahl und Eisen“ 1897, Seite 107). Eine Karte mit sämmtlichen Erzgruben und Eisenhütten des in Rede stehenden Gebiets enthält Åkerman's unter Litteratur genannte Schrift.

2) Näheres über dieses Erzvorkommen und dasjenige von Grängesberg in den Provinzen Oerebro und Kopparberg, welches, wie schon erwähnt, den deutschen Werken gleichfalls reichliche Erzmengen liefert: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 307 (P. von Schwarze); 1890, Seite 181 (A. Vosmaer); 1894, Seite 517 (Lürmann); 1894, Seite 773; 1895, Seite 217 (W. Tiemann); Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses, 1898, Seite 37 (Wedding). Die Gesammtförderung Schwedens an Eisenerzen beträgt etwa 2000000 Tonnen.

caya-Hütte, Hütte der Sociedad de Altos Hornos, San Francisco-Hütte), welche theils mit fremden, theils mit asturischen Koks die Erze verhütten. Auch in Asturien ist ein mit dortigen Koks betriebenes Werk, La Felguera, entstanden; verschiedene Holzkohlenöfen finden sich theils in der Umgegend von Bilbao, theils auch in anderen Bezirken.

Kanada.

Erzförderung findet vornehmlich in den Provinzen Quebeck und Neu-Schottland statt. Man gewinnt Magnet-, Roth- und Brauneisenerze, auch in geringeren Mengen See- und Rasenerze. Die Verhüttung geschieht in zwei Eisenwerken Neu-Schottlands mit Koks, in einem Werke Quebecks (Radnor Forges) mit Holzkohlen. Die Erzeugung an Roheisen und Eisenwaaren ist bei Weitem nicht ausreichend, den eignen Bedarf des Landes zu decken; aus den Vereinigten Staaten, Grossbritannien und Deutschland werden reichliche Mengen jener Waaren eingeführt.

Italien.

Aehnlich wie in Spanien liegen die Verhältnisse für die Eisenerzeugung in Italien: das Land besitzt zwar einen ziemlichen Reichthum an Eisenerzen, aber mineralische Kohlen, welche zu ihrer Verhüttung tauglich wären, fehlen gänzlich.

Hochberühmt waren schon zu der Römer Zeit die Eisenerze von Elba; auch die Lombardei, Kalabrien, Sardinien, Piemont und Toscana besitzen mehr oder minder reiche Vorkommnisse von Erzen.

Eine Verhüttung von Eisenerzen (mit Holzkohlen) findet statt zu Castro in der Provinz Bergamo und zu Fellonica in der Provinz Grosseto; auch in unbedeutendem Maasse an einem Orte in Brescia.

Litteratur.[1])

a) Eintheilung und Benennungen des Eisens.

M. A. Greiner, Ueber die Definition des Stahls. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1876, S. 175; Revue universelle des mines 1875, p. 564.

R. Åkerman, Ansichten über den richtigen Begriff von Stahl. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1876, S. 337; Jern-Kontorets Annaler, Bd. 67, Heft 3.

H. Wedding, Die Nomenclatur des Eisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1877, S. 46.

Classification von Eisen und Stahl. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1878, S. 60; Zeitschrift des berg- und hüttenmännischen Vereins für Steiermark und Kärnten 1878, S. 252.

H. Wedding, Die heutigen Methoden der Eisenerzeugung und die Benennung der daraus hervorgehenden Eisengattungen. Glaser's Annalen, Bd. 22, S. 167, daraus „Stahl und Eisen" 1888, S. 457.

b) Geschichtliches.

Dr. Ludwig Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. Zweite Auflage. Braunschweig 1891—97.

1) Vergleiche auch die Fussanmerkungen auf S. 18, 20, 23, 26, 29, 30, 31, 32, 33.

James M. Swank, History of the Manufacture of Iron in all Ages. Second Edition. Philadelphia 1892.

Rich. Andree, Die Metalle bei den Naturvölkern. Leipzig 1884.

c) Die Eisenerzeugung in verschiedenen Ländern.

Gemeinfassliche Darstellung des Eisenhüttenwesens. Herausgegeben vom Verein deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf. 3. Auflage. 1896.

H. Wedding, Statistik des Eisens. Sonderabdruck aus „Stahl und Eisen". Düsseldorf 1891.

H. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde. 2. Auflage. Braunschweig 1897. Bd. 2, S. 1—236.

Rich. P. Rothwell, The Mineral Industry in the United States and other countries. New York and London (erscheint jährlich).

John Birkinbine, The Production of Iron Ores in various Parts of the World. Washington 1895.

E. Gruner, Atlas du comité central des houillères de France. Cartes des bassins houillers de France, de la Grande-Bretagne, de la Belgique et de l'Allemagne, accompagnées d'une description technique générale et de renseignements statistiques et commerciaux. Paris 1893.

H. Wedding, Zwanzig Jahre des Fortschritts in der Eisenerzeugung auf der Erde. „Stahl und Eisen" 1893, S. 230.

F. Kintzlé, Die Eisenindustrie der Vereinigten Staaten von Nordamerika. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, S. 947.

H. Wedding, Die Eisenerzlagerstätten von Mesaba in Minnesota. „Stahl und Eisen" 1896, S. 7.

E. Schroedter, Der Wettbewerb der amerikanischen Eisenindustrie. „Stahl und Eisen" 1897, S. 948.

O. Simmersbach, Die Entwickelung der Roheisenindustrie Grossbritanniens. „Stahl und Eisen" 1897, S. 264, 309.

E. Schroedter, Die Deckung des Erzbedarfs der deutschen Hochöfen in Gegenwart und Zukunft. „Stahl und Eisen" 1896, S. 232 (auch als Sonderabdruck erschienen).

Wandesleben, Das Vorkommen der oolithischen Eisenerze (Minette) in Lothringen, Luxemburg und dem östlichen Frankreich. „Stahl und Eisen" 1890, S. 677.

L. Hoffmann, Die oolithischen Eisenerze in Deutsch-Lothringen. „Stahl und Eisen" 1896, S. 945, 988.

Fr. Greven, Das Vorkommen des oolithischen Eisenerzes im südlichen Theile Deutsch-Lothringens. „Stahl und Eisen" 1898, S. 1.

Th. Jung, Die Roheisenindustrie an der Saar und Mosel und ihre Fortschritte. „Stahl und Eisen" 1895, S. 617.

S. Jordan, Note sur les ressources de l'industrie du fer en France. Revue universelle 1878, tome 4, p. 329.

G. Rolland, Sur les gisements de fer oolithique du nouveau bassin de Briey (Meurthe-et-Moselle). Comptes rendus vol. 126, p. 285; daraus in „Stahl und Eisen" 1898, S. 218.

P. Tunner, Ueber die Eisenindustrie Russlands. Petersburg 1870.

P. Tunner, Russlands Montanindustrie, insbesondere dessen Eisenhüttenwesen. Leipzig 1871.

Die Eisenindustrie Russlands. „Stahl und Eisen" 1894, S. 713.

P. Trasenster, L'industrie charbonnière et siderurgique de la Russie meridionale. Revue universelle des mines, série 3, tome 34 (1896), p. 1, 172.

P. Bayard, Die Eisenindustrie in Südrussland. „Stahl und Eisen" 1895, S. 699, 753.

Die Eisenerze Oesterreichs und ihre Verhüttung. Aus Anlass der Pariser Weltausstellung verfasst im k. k. Ackerbau-Ministerium. Wien 1878.

C. A. M. Balling, Die Eisenindustrie Böhmens. Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Bd. 17, S. 211.

C. A. M. Balling, Die Eisenindustrie Mährens und Oesterreich-Schlesiens. Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Bd. 18, S. 173.

P. Tunner, Die Lage der Eisenindustrie in Steiermark und Kärnten. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1882, S. 463.

Fr. Schuster, Die Entwickelung der Roheisenindustrie in neuerer Zeit. „Stahl und Eisen" 1896, S. 764.

A. v. Kerpely, Das Eisenhüttenwesen in Ungarn. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 467.

A. v. Kerpely, Das Eisenhüttenwesen in Ungarn zur Zeit des Milleniums. „Stahl und Eisen" 1896, S. 932, 975, 1026.

Les mines et usines de la Hongrie. Revue universelle des mines, série 3, tome 40, p. 192.

O. Simmersbach, Kohle und Eisen in Belgien. „Stahl und Eisen" 1897, S. 961.

R. Åkerman, Ueber den Stand der Eisenfabrikation in Schweden zu Anfang des Jahres 1873. Mit einer Karte über Gruben- und Hüttenwerke. Stockholm 1873.

G. Nordenström, Die Nachhaltigkeit der Eisenerzablagerungen Schwedens. „Stahl und Eisen" 1894, S. 357.

H. Wedding, Die phosphorhaltigen Eisenerze Schwedens und ihre Bedeutung für die deutsche Eisenindustrie. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1898, S. 37.

J. Head, Scandinavia as a source of iron ore supply. Journal of the Iron and Steel Institute 1894 I, p. 47.

H. Wedding, Die Eisenerze an der Nordküste Spaniens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1896, S. 293.

Don Pablo de Alzola, On the iron and steel industry of Spain. Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, p. 5 (auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1896, S. 793).

W. Gill, On the present position of the iron ore industries of Biscay and Santander. Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, p. 36 (auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1896, S. 792).

Stockfleth, Neue Eisenerzfunde auf der Insel Sardinien. „Stahl und Eisen" 1897, S. 534.

G. Leinung, Eisenerzvorkommen im Tayeh-Bezirk, Provinz Hupeh, China. „Stahl und Eisen" 1898, S. 221.

II. Ueber Verbrennung, Reduction, Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe.

1. Verbrennung und Reduction.

a) Allgemeines.

Die hierunter erörterten Lehrsätze stützen sich auf Gesetze der allgemeinen Chemie, angewendet auf die Vorgänge im Eisenhüttenbetriebe. Ihre Beachtung ist eine Grundbedingung für das Verständniss und die richtige Deutung jener Vorgänge; manche auffällige Erscheinung im

Betriebe findet ihre einfache Erklärung, wenn man die in Rede stehenden Lehrsätze ins Auge fasst.

Verbrennung im allgemeinen und hier vorzugsweise in Betracht kommenden Sinne nennen wir jede chemische Vereinigung eines Körpers mit Sauerstoff (Oxydation); im engeren Sinne sprechen wir von Verbrennung dann, wenn eine solche Wärmeentwickelung damit verknüpft ist, dass der brennende Körper ein Erglühen zeigt.

Der dem Verbrennen entgegengesetzte Vorgang ist die Reduction, d. h. die Abscheidung eines einfachen Körpers aus seiner Verbindung mit Sauerstoff, auch wohl einer sauerstoffärmeren Verbindung aus der sauerstoffreicheren; allgemein auch die Abscheidung eines Körpers, insbesondere Metalls, aus einer Verbindung (mit Schwefel, Arsen u. s. w.). Bei der Eisendarstellung kommt fast nur die Abscheidung aus Sauerstoffverbindungen in Betracht; daher ist in Folgendem auch nur diese unter dem Ausdrucke Reduction verstanden.

Wird bei der Verbrennung eines Körpers Wärme erzeugt, so ist genau die gleiche Wärmemenge erforderlich, um seine Reduction aus der Verbindung zu bewirken, welche aus der Verbrennung hervorging.[1]) Die Kenntniss dieser Wärmemengen ist von Wichtigkeit für die richtige Beurtheilung metallurgischer, insbesondere auch die Eisenerzeugung betreffender Verfahren.

Neben jedem Reductionsvorgange geht eine Verbrennung einher; d. h. zur Reduction des einen Körpers wird ein anderer benutzt, dessen Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff unter den gegebenen Verhältnissen grösser ist, als das des ersten, so dass er diesem seinen Sauerstoff entzieht, sich selbst damit chemisch verbindend. Ist die Verbrennungswärme des als Reductionsmittel dienenden Körpers grösser als diejenige des reducirten, so wird bei diesem Vorgange Wärme gewonnen, und Temperatursteigerung tritt ein; im entgegengesetzten Falle wird Wärme verbraucht und muss von aussen her, d. h. aus einer besonderen Wärmequelle, ersetzt werden, wenn nicht Abkühlung eintreten soll, welche unter Umständen ein Aufhören des Reductionsvorganges zur Folge haben kann.

Nur wenige Körper wirken bei gewöhnlicher Temperatur merklich oxydirend oder reducirend auf einander.[2]) Bei allen hüttenmännischen Verfahren ist eine erhöhte Temperatur erforderlich, welche das Vereinigungsbestreben des Reductionsmittels (seine Verwandtschaft) zum Sauerstoff steigert; aber diese Einwirkung der gesteigerten Temperatur kann nur dann eine Reduction ermöglichen, wenn nicht auch das Vereinigungsbestreben des anderen Körpers, welcher reducirt werden soll, in dem gleichen Maasse zunimmt. Mit anderen Worten: Reduction durch Einwirkung zweier Körper im erhitzten Zustande auf einander ist die Folge einer durch die Erhitzung veranlassten erheblicheren Steigerung der Verwandtschaft des Reductionsmittels zum Sauerstoff; unter

1) Gesetz von Lavoisier und Laplace, im Jahre 1780 zuerst durch Versuche erwiesen.

2) Es ist immerhin wahrscheinlich, dass bei sehr lange währender inniger Berührung eine Einwirkung sich vollzieht; aber ihre Geschwindigkeit ist sehr gering. Auch diese Thatsache beruht auf einem allgemeinen chemischen Gesetze. Vergleiche Dammer, Anorganische Chemie, Band I, Seite 322.

Umständen auch einer durch die Erhitzung hervorgerufenen Verringerung der Verwandtschaft des zu reducirenden Körpers.[1])

Diese Thatsache, so leicht verständlich sie auch ist, wird vielfach bei der Verfolgung metallurgischer Vorgänge unbeachtet gelassen, und man erschwert sich dadurch das Verständniss der Vorgänge. Jener Einfluss der Temperatur auf das Vereinigungsbestreben liefert die Erklärung dafür, dass nicht allein die Reductionstemperaturen verschiedener Körper ungleich hoch liegen, sondern dass auch Reductionsmittel, welche in einem Falle benutzbar sind, für die Reduction anderer Körper wirkungslos bleiben, weil es eben in den letzteren Fällen nicht gelingt, ihre Verwandtschaft zum Sauerstoff durch Erhitzung auf einen höheren Grad zu steigern als diejenige des zu reducirenden Körpers. Hiervon muss die Wahl des Reductionsmittels sowie die Höhe der anzuwendenden Temperatur abhängig sein.

b) Die wichtigsten Reductionsmittel.

Bei den Verfahren der Eisendarstellung kommen als Reductionsmittel vorwiegend Kohlenstoff und Kohlenoxydgas, das sauerstoffärmste, einer weiteren Verbrennung fähige Verbrennungserzeugniss des Kohlenstoffs, zur Geltung. Eine untergeordnete Bedeutung als Reductionsmittel besitzt Wasserstoffgas, welches als Nebenerzeugniss mitunter entsteht und dann reducirend auf verschiedene Sauerstoffverbindungen einzuwirken vermag; in gewissen, bei der späteren Besprechung der einzelnen Verfahren zu erläuternden Fällen können metallisches Eisen, Mangan, Silicium, Phosphor, Aluminium als Reductionsmittel dienen.

Das Verhalten der drei zuerst genannten Körper — Kohlenstoff, Kohlenoxyd und Wasserstoff — bei ihrer Verwendung als Reductionsmittel zeigt jedoch Unterschiede, welche Beachtung verdienen.

Die niedrigste Temperatur, bei welcher Kohlenstoff und Sauerstoff sich rasch zu vereinigen vermögen, liegt — abweichend nach der äusseren Beschaffenheit des Kohlenstoffs (Holzkohle, Koks, Anthracit, Graphit) — bei 400—800° C.;[2]) unterhalb dieser Temperatur vermag also der Kohlenstoff nicht als Reductionsmittel zu wirken. Das chemische Vereinigungsbestreben des Sauerstoffs zum Kohlenstoff, seine Verwandtschaft zum Kohlenstoff, wächst aber von jener Entzündungstemperatur an aufwärts in starkem Maasse und erreicht erst in heller Weissgluth ihren höchsten Grad. Das kohlenstoffreichste Verbrennungserzeugniss des Kohlenstoffs ist Kohlenoxydgas, ein Körper, welcher auch in den höchsten in unseren Oefen erreichbaren Temperaturen beständig ist, d. h. unter gewöhnlichen Verhältnissen weder in merkbarem Grade dissociirt wird, noch oxydirend

1) Es ist bekannt, dass manche Körper schon durch einfache Erhitzung ohne Einwirkung eines zweiten Körpers zerlegt — dissociirt — werden. Je näher die Temperatur diesem Dissociationspunkte rückt, desto geringer wird gewöhnlich die Verwandtschaft der verbundenen Körper, desto leichter ist Reduction zu bewirken.

2) Durch freien Sauerstoff kann Kohlenstoff zwar schon bei gewöhnlicher Temperatur zu Kohlendioxyd verbrannt werden, jedoch so langsam, dass der Vorgang keine Bedeutung für die Verwendung der Kohle besitzt. Vergl. Poggendorff's Annalen, Bd. 109, S. 353.

auf andere, im Eisenhüttenwesen eine Rolle spielende Körper zu wirken vermag, welcher Umstand in naher Beziehung zu der soeben erwähnten Steigerung der Verwandtschaft des Kohlenstoffs zum Sauerstoff durch Temperaturzunahme steht und ohne welchen diese nicht möglich sein würde.[1]) Körper, deren Verwandtschaft zum Sauerstoff durch Erhitzen nicht in dem gleichen Maasse wie diejenige des Kohlenstoffs gesteigert wird, lassen sich also häufig aus ihren Oxyden durch starke Erhitzung mit Kohlenstoff reduciren, auch wenn sie in weniger hohen Temperaturen — beispielsweise in Rothgluth — widerstandsfähig gegenüber der Einwirkung des Kohlenstoffs sein sollten. In dieser Weise verhalten sich z. B. Kalium, Natrium, Mangan u. a.; gerade jene dem Kohlenstoff eigenthümliche Eigenschaft, durch Erhitzen seine Verwandtschaft zum Sauerstoff in stärkerem Maasse als viele andere Körper zu steigern, erhebt ihn zu einem der vorzüglichsten Reductionsmittel in hohen Temperaturen.

Kohlenoxyd dagegen vermag schon bei etwa 200° C. mit einem zweiten Atom Sauerstoff sich zu Kohlendioxyd (Kohlensäure) zu vereinigen,[2]) und sein Verbrennungsbestreben wächst anfänglich ebenfalls mit der Temperatur, bis diese ungefähr 1000° C. erreicht. In Temperaturen zwischen 1000 und 1200° C. aber beginnt nach Versuchen von H. Saint-Claire Deville jener Vorgang, den man als Dissociation der Kohlensäure bezeichnet, ein Zerfallen in Kohlenoxyd und freien Sauerstoff. Anfänglich tritt die Dissociation nur in geringem Maasse auf; sie nimmt zu, d. h. immer reichlichere Mengen Kohlensäure werden dissociirt und immer mehr freier Sauerstoff ist neben unverbranntem Kohlenoxyd zugegen, ohne sich mit diesem zu vereinigen, je höher die Temperatur steigt; bei 1200° C. ist die Dissociation schon recht bedeutend und bei etwa 2600° C. vermag die Kohlensäure überhaupt nicht mehr zu bestehen.[3]) Hieraus folgt, dass die Verbrennung des Kohlenoxyds immer schwieriger wird, je höher die Temperatur über 1000° C. steigt, und in naher Beziehung hierzu steht die Thatsache, dass die Kohlensäure in höheren Temperaturen kräftig oxydirend auf viele Körper einwirkt, welche in weniger hohen Temperaturen durch Kohlenoxyd reducirt werden können. Eben deshalb verliert aber das Kohlenoxyd um so mehr an reducirender Kraft, je höher die Temperatur über die

1) Aluminium wird nach Versuchen von Stead durch Kohlenoxyd verbrannt: $2\,Al + 3\,CO = Al_2O_3 + 3\,C$ (Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 190). Besondere Verhältnisse, z. B. Reibung an rauhen Flächen oder einfache Berührung mit gewissen Körpern, können ein Zerfallen des Kohlenoxyds in Kohle und Kohlendioxyd ($2\,CO = C + CO_2$) ermöglichen (Comptes rendus, vol. 60, p. 321). Ein Fall der letzteren Art (Zerfallen in Berührung mit Eisenoxyden) findet im VII. Abschnitte dieser Abtheilung (Chemisch-metallurgisches Verhalten des Eisens) besondere Besprechung. Eine Dissociation im engeren Sinne, d. h. ein Zerfallen des Kohlenoxyds in Kohlenstoff und Sauerstoff ($CO = C + O$) lediglich infolge starker Erhitzung, findet dagegen in dem in unseren Oefen erreichbaren Temperaturen nicht statt.

2) Nach Versuchen von L. Bell kann Kohlenoxyd schon bei 200° C. Eisenoxyden einen Theil ihres Sauerstoffgehaltes entziehen (L. Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, p. 71).

3) Comptes rendus, 56, p. 729, 60, p. 323; auch Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, deutsch von Kupelwieser, S. 60.

bezeichnete Grenze hinaus steigt. Damit überhaupt Reduction durch Kohlenoxyd möglich sei, muss stets ein Ueberschuss des Kohlenoxyds zugegen sein, um durch Verdünnung der sich bildenden Kohlensäure deren oxydirende Kraft aufzuheben, und dieser Ueberschuss muss um so grösser sein, je höher die Temperatur ist, in welcher der Vorgang von statten geht. Ein und dasselbe Gemisch von Kohlensäure und Kohlenoxyd kann in niedrigeren Temperaturen reducirend, in höheren Temperaturen oxydirend auf den nämlichen Körper einwirken. Nach Versuchen von L. Bell[1]) verhält sich z. B. ein Gemisch beider Gase sowohl gegen metallisches Eisen als gegen Eisenoxyde unthätig, d. h. es wirkt weder reducirend noch oxydirend, wenn es neben 100 Raumtheilen Kohlenoxyd

in Weissgluth	11	Raumtheile Kohlensäure
„ heller Rothgluth	47	„ „
„ dunkler „	150	„ „

enthält. Reine Kohlensäure dagegen verwandelte sich beim langsamen Hinüberleiten über Eisenschwamm schon bei 417° beinahe vollständig in Kohlenoxyd.

Durch den gasförmigen Zustand des Kohlenoxyds wird seine Berührung mit festen Körpern erleichtert; es umhüllt sie, dringt in ihre Poren ein. Zwischen einem festen Körper und Kohle dagegen ist die gegenseitige Berührung um so unvollkommener, je grobstückiger beide sind; sie wird vergrössert, wenn Schmelzung des ersteren eintritt.

Diese Unterschiede in dem Verhalten der Kohle und des Kohlenoxyds liefern die Erklärung dafür, dass für Reductionsvorgänge, welche in Temperaturen unter 1000° C. ausführbar sind, Kohlenoxyd das geeignetere Reductionsmittel ist, während die Bedeutung des Kohlenstoffs als Reductionsmittel mit der Temperatur zunimmt, und dass in den höchsten Temperaturen unserer Oefen Kohlenstoff das einzig benutzbare Reductionsmittel bildet. Metalle, deren Oxyde durch Kohlenoxyde reducirbar sind, nennen wir leicht reducirbar, solche, die nur noch durch Kohle in Weissgluth reducirt werden können, schwer reducirbar.

Aehnlich wie Kohlenoxyd verhält sich Wasserstoff als reducirender Körper. Bei seiner Verbrennung entsteht Wasserdampf; aber bereits bei 1000° C. beginnt nach H. Saint-Claire Devilles Versuchen dessen Dissociation, und bei 2500° hört er überhaupt auf zu bestehen.[2]) Er wirkt daher schon in verhältnissmässig niedriger Temperatur oxydirend, wenn er mit Körpern zusammentrifft, deren Verwandtschaft zum Sauerstoff durch Erwärmung gesteigert wird, und bei der Benutzung des Wasserstoffs als Reductionsmittel muss, wie beim Kohlenoxyd, ein um so grösserer Ueberschuss zugegen sein, je höher die Temperatur steigt.[3])

1) In Bell's genanntem Werke, Seite 185 und 186 mitgetheilt.

2) Comptes rendus, 56, p. 197; 64, p. 67.

3) Versuche von L. Bell über das Verhalten des Wasserstoffs als Reductionsmittel in dessen genanntem Werke, Seite 305 ff.

c) Einfluss der Anwesenheit dritter Körper auf den Verlauf der Reduction.

Durch Gegenwart dritter Körper, welche das Bestreben besitzen, mit den Erzeugnissen des Reductions- oder Oxydationsvorganges Verbindungen einzugehen, werden diese Vorgänge oft in merkbarer Weise befördert, mitunter sogar erst ermöglicht.

So z. B. ist Silicium aus der Kieselsäure durch Kohle allein auch in hellster Weissgluth nicht reducirbar; seine starke Verwandtschaft zum Eisen aber erklärt es, dass bei Gegenwart von metallischem Eisen in ausreichend hoher Temperatur Silicium durch Kohle reducirt und von dem Eisen aufgenommen werden kann. Wie schon auf Seite 3 erwähnt wurde, enthalten verschiedene Eisensorten ziemlich ansehnliche Mengen von Silicium, welche nur auf Grund jenes Gesetzes reducirt und vom Eisen aufgenommen werden konnten.

Ein Beispiel für die Beeinflussung der Oxydationsvorgänge durch die Anwesenheit dritter Körper liefert das Verhalten des Phosphors im Eisen. Aus geschmolzenem Eisen wird auch unter kräftig oxydirenden Einwirkungen Phosphor nicht abgeschieden, so lange eine kieselsäurereiche Schlacke, welche keine Neigung besitzt, Phosphorsäure aufzunehmen, zugegen ist; aber die Abscheidung gelingt bei Anwesenheit basischer Körper, welche Phosphate zu bilden geneigt sind.

Viele andere Erscheinungen des Betriebes lassen sich auf ähnliche Einflüsse zurückführen, und in den Besprechungen der einzelnen Verfahren wird noch häufig auf das hier angeführte Naturgesetz Bezug genommen werden.

2. Vollständige und unvollständige Verbrennung.

a) Erklärungen.

Man nennt die Verbrennung eines Körpers vollständig, wenn die Verbrennungserzeugnisse (welche bei den gewöhnlichen Brennstoffen gasförmig sind) keine brennbaren Bestandtheile mehr enthalten. Verbrennt man Kohle, so enthalten die Verbrennungserzeugnisse bei vollständiger Verbrennung neben dem etwa vorhandenen, überschüssig zugeleiteten Sauerstoff nur noch Stickstoff (aus der Verbrennungsluft stammend) und Kohlensäure; verbrennt man flammende Brennstoffe, so tritt noch Wasserdampf als Verbrennungserzeugniss zu den soeben genannten. Unvollkommen ist die Verbrennung, wenn sich Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe, Theer, Rauch[1]) in den Verbrennungsgasen befinden.

Sofern es sich bei der Verbrennung eines Brennstoffes nur darum handelt, eine möglichst grosse Wärmemenge zu erzeugen, muss man darnach trachten, vollständige Verbrennung zu erzielen, denn jeder unverbrannt gebliebene Bestandtheil der Verbrennungsgase ist gleichbedeutend mit einer Minderentwickelung von Wärme. Nicht immer freilich gestatten die chemischen Eigenthümlichkeiten eines durchzuführen-

1) Rauch besteht theils aus Theerdämpfen, theils aus Kohlenstofftheilchen, welche aus der unvollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen hervorgegangen sind, mit dem Gasstrome davon geführt werden und als Russ sich ablagern.

den Verfahrens, vollständige Verbrennung zur Anwendung zu bringen. Wollte man z. B. beim reducirenden Schmelzen von Eisenerzen den Kohlenstoff vollständig, d. h. zu Kohlensäure, verbrennen, so würde wegen der schon erwähnten oxydirenden Eigenschaft dieses Gases Reduction überhaupt unmöglich sein.

Die zur Erzielung einer vollständigen — oder unter Umständen unvollständigen — Verbrennung anzuwendenden Mittel müssen von dem chemischen Verhalten der zu verbrennenden Körper gegenüber dem Sauerstoff in der Verbrennungstemperatur abhängig sein. Die hier vornehmlich in Betracht kommenden Stoffe sind Kohle, Kohlenoxyd, Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe.

b) Kohlenstoff und Kohlenoxyd. Reduction der Kohlensäure durch Kohle.

Bei der Verbrennung von Kohlenstoff kann sowohl Kohlenoxyd als Kohlensäure entstehen. Häufig findet man in den Verbrennungserzeugnissen beide Körper neben einander; welcher von ihnen vorwiegend gebildet wird, hängt von mehreren, gewöhnlich gemeinschaftlich zur Geltung gelangenden Einflüssen ab.

In jedem Falle erheischt die gleiche Menge Sauerstoff zur Kohlenoxydbildung die doppelte Menge Kohle als zur Kohlensäurebildung; zwei Atome Sauerstoff verbrennen bei Kohlensäurebildung nur ein Atom Kohlenstoff ($2\,O + C = CO_2$), bei Kohlenoxydbildung deren zwei ($2\,O + 2\,C = 2\,CO$). Daher befördert — allgemein ausgedrückt — ein reichliches Verhältniss des für die Verbrennung des Kohlenstoffs bestimmten Sauerstoffs zum Kohlenstoff die Entstehung von Kohlensäure, ein reichliches Verhältniss des Kohlenstoffs zum Sauerstoff die Entstehung von Kohlenoxyd.

Dieses allgemeine Gesetz findet in verschiedenen Fällen Bestätigung.

Wenn man z. B. von einem durch ein Gebläse erzeugten Luftstrome feingepulverte Kohle mitführen und dieses Gemisch in einen zuvor so stark erhitzten Raum eintreten lässt, dass Entzündung der Kohle erfolgen muss (Kohlenstaubfeuerung), so ist in dem Falle vollständige Verbrennung der Kohle zu erzielen, dass der Sauerstoff in einigem Ueberschuss zugegen ist.

Häufiger ist der Fall, dass die Verbrennungsluft eine längere Schicht des in Ruhe befindlichen oder der Luft langsam entgegenrückenden, stückförmigen, im Wesentlichen aus Kohle bestehenden Brennstoffs zu durchdringen hat (z. B. in Schachtöfen). Je länger hier die von der Luft zu durchdringende Schicht ist (je höher also in dem genannten besonderen Falle der Schachtofen), desto grösser ist das Verhältniss des Kohlenstoffs zum Sauerstoff, d. h. mit desto reichlicheren Mengen Kohlenstoff tritt die gleiche Menge Sauerstoff in Berührung, desto reichlicher wird Kohlenoxyd gebildet.[1])

Der hier zu Tage tretende Einfluss der gegenseitigen Berührung zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff auf die Zusammensetzung der Verbrennungserzeugnisse äussert sich in dem besprochenen Falle, wo ein

1) Versuche hierüber: H. Bunte, Commissionsarbeiten, betreffend die Versuche über die Leistungsfähigkeit der Koksgeneratoren, Schlussbericht, S. 142 (Sonderabdruck aus dem Journal für Gasbeleuchtung 1878 und 1879).

Luftstrom eine längere Brennstoffschicht zu durchdringen hat, auch insofern, als durch langsame Bewegung der Luft die Berührung des vorhandenen Kohlenstoffs mit dem hindurchstreichenden Sauerstoff ausgedehnt und Kohlenoxydbildung befördert wird.

Je mehr Kohlenstofftheilchen demnach mit der gleichen Menge Sauerstoff in Berührung treten, desto mehr wird die Kohlenoxydbildung befördert. Ist daher bei irgend einem Verbrennungsvorgange die zur Kohlenoxydbildung erforderliche Kohlenstoffmenge vorhanden, so befördert eine von dem Kohlenstoff dargebotene grosse Oberfläche Kohlenoxydbildung, geringe Oberfläche Kohlensäurebildung. Je weniger Oberfläche unter sonst gleichen Verhältnissen der Kohlenstoff darbietet, desto weniger Kohlenstoff kann eben durch die gleiche Menge Sauerstoff verbrannt werden, desto reichlicher ist das Verhältniss der Kohlensäure zum Kohlenoxyd in den Verbrennungserzeugnissen. Je dichter aber der Brennstoff ist und je grösser die einzelnen Stücke sind, desto geringer ist die Oberfläche des Brennstoffs, desto grösser die Menge der entstehenden Kohlensäure. Dichte Koks sind daher, wenn es sich um Erzielung einer möglichst vollständigen Verbrennung zu Kohlensäure handelt, ein geeigneterer Brennstoff als porige, und diese liefern unter gleichen Verhältnissen immerhin noch grössere Mengen Kohlensäure als die noch weniger dichten Holzkohlen; grossstückige Brennstoffe sind zur Erzielung der vollständigen Verbrennung besser benutzbar als kleinstückige. Von diesen Thatsachen macht man bei zahlreichen Verbrennungsvorgängen Nutzanwendung.

Jener Einfluss der gegenseitigen Berührung des Brennstoffs und der Verbrennungsluft liefert auch die Erklärung dafür, dass in den Fällen, wo die Luft eine Schicht stückförmiger Brennstoffe zu durchdringen hat, hohe Gasspannung im Verbrennungsraume und starke Pressung der eintretenden Verbrennungsluft Kohlenoxydgasbildung, geringe Gas- und Luftspannung Kohlensäurebildung befördert; dass reichliche Vertheilung der eintretenden Luft auf grosse Querschnitte günstig für Kohlensäurebildung ist und umgekehrt. Denn je grösser die Gasspannung ist, desto geringer ist die von dem Sauerstoff dem Kohlenstoff dargebotene Oberfläche, desto grösser das Verhältniss der Kohlenstoffoberfläche zur Sauerstoffoberfläche, desto inniger ist die Berührung beider Körper, desto mehr Kohlenstoff wird durch die gleiche Sauerstoffmenge verbrannt, desto mehr Kohlenoxyd und desto weniger Kohlensäure wird gebildet. Umgekehrt wird durch reichliche Vertheilung der Luft deren Oberfläche vergrössert und die Kohlensäurebildung befördert. In Schachtöfen, welche mit festen Brennstoffen geheizt werden und durch ein Gebläse ihren Wind erhalten, fällt daher das Verhältniss des bei der Verbrennung entstehenden Kohlenoxyds zur Kohlensäure im Allgemeinen um so grösser aus, je stärker der Druck des eingeführten Windes ist. Auch die grössere Geschwindigkeit des unter stärkerem Drucke eintretenden Windes an und für sich trägt zur reichlichen Bildung von Kohlenoxyd bei: die Sauerstofftheilchen prallen mit grösserer mechanischer Kraft gegen die Brennstoffstücke, dringen vollständiger zwischen die einzelnen Stücke

und in deren Poren ein und finden solcherart Gelegenheit zur Berührung mit einer grösseren Menge Kohlenstoff, als bei schwacher Windpressung. Die gleiche Menge Sauerstoff verbrennt mehr Kohlenstoff als im andern Falle, und die Folge ist reichlichere Bildung von Kohlenoxydgas.

Neben allen diesen, auf dem gegenseitigen Massenverhältnisse der mit einander in Berührung tretenden Kohlenstoff- und Sauerstofftheilchen beruhenden Umständen beeinflusst in starkem Maasse die in dem Verbrennungsraume herrschende Temperatur den Verlauf der Verbrennung. Die oben besprochenen, für die Reduction der Sauerstoffverbindungen durch Kohlenstoff und durch Kohlenoxyd maassgebenden Naturgesetze finden auch bei der Verbrennung von Kohle durch freien Sauerstoff ihre Geltung. Hohe Temperatur begünstigt allgemein die chemische Vereinigung der hier in Betracht kommenden Körper, also die Verbrennung zweier Atome Kohlenstoff durch zwei Atome Sauerstoff (Seite 42) und demnach die Entstehung von Kohlenoxyd. Während aber Kohlenoxyd in den höchsten in unseren Feuerungen erreichbaren Temperaturen beständig ist, zerfällt die Kohlensäure in höheren Temperaturen in Kohlenoxyd und freien Sauerstoff. Deshalb befördert hohe Temperatur im Verbrennungsraume stets dann die Verbrennung zu Kohlenoxyd, wenn die ausreichende Menge Kohlenstoff zur Bildung dieser Verbindung vorhanden ist, z. B. in Schachtöfen beim Hindurchstreichen der Luft durch eine hohe Schicht Brennstoff, während unter übrigens gleichen Verhältnissen um so mehr Kohlensäure gebildet wird, je niedriger die Temperatur ist.

Bei Betrachtung eines Holzkohlen- oder Koksfeuers auf einem Roste lässt schon der Augenschein diese Thatsache erkennen. So lange die Temperatur niedrig ist, verbrennt der Brennstoff flammenlos, er wird schon auf dem Roste durch die eintretende Luft zu Kohlensäure verbrannt; steigt die Temperatur, so entsteht eine blaue Flamme, aus Kohlenoxyd bestehend, welches erst durch die zutretende äussere Luft verbrannt wird.

Einen noch zuverlässigeren Beweis von dem Einflusse der Temperatur liefern Versuche im Kleinen. Als ich bei verschiedenen Temperaturen trockene Luft mit annähernd gleicher Geschwindigkeit durch ein mit Holzkohlenstücken gefülltes Porzellanrohr leitete, erhielt ich folgende Zusammensetzung der austretenden Gase (ohne den Stickstoff):[1])

	O	CO_2	CO	Verhältniss $CO : CO_2$
	Gewichtstheile			
unter Zinkschmelzhitze (350° C.)	17,1	6,1	1,0	0,16
bei „ (440° C.)	4,1	19,8	4,7	0,24
„ ganz dunkler Rothgluth (etwa 500° C.)	2,7	22,8	5,6	0,24
„ beginnender Kirschrothgluth (etwa 600° C.)	—	—	—	0,38
„ Gelbgluth (900 bis 1000° C.)	0,0	0,6	33,6	56,0

Bei Benutzung von Koks zu dem gleichen Versuche fand Ernst nachstehende Zusammensetzung der Gase:[2])

1) „Stahl und Eisen", 1882, Seite 359.

2) Journal für praktische Chemie, Band 156 (1893), Seite 31. Aus einer grösseren Zahl von Versuchen sind hier solche herausgegriffen, bei welchen die Menge

	O	CO_2	CO	Verhältniss $CO : CO_2$
	Raumtheile			
unter Zinkschmelzhitze (394° C.)	20,1	1,1	0,0	0,00
bei " (495° C.)	0,0	19,0	1,6	0,08
" ganz dunkler Rothgluth (800° C.) . . .	0,0	17,9	5,9	0.33
" beginnender Kirschrothgluth (900° C.) . .	0,0	10,1	15,8	1,56
" Gelbgluth (995° C.)	0,0	0,0	34,4	∞

In beiden Fällen wird das Verhältniss des entstehenden Kohlenoxyds zur Kohlensäure immer beträchtlicher, je höher die Temperatur steigt, und wenn diese nahe an 1000° C. kommt, hört die Kohlensäurebildung überhaupt auf. Dieser Satz von dem Einflusse der Temperatur auf Kohlenoxyd- und Kohlensäurebildung ist von Wichtigkeit für das Verständniss zahlreicher Vorgänge.

Tritt dagegen mehr Sauerstoff mit dem anwesenden Kohlenstoff in Berührung, als zur Kohlenoxydbildung erforderlich ist, mit anderen Worten, fehlt es an Kohlenstoff zur Kohlenoxydbildung, so entsteht in jedem Falle Kohlensäure, so lange die herrschende Temperatur deren Dissociationsgrenze nicht überschreitet. Steigt die Temperatur über diese hinaus, so findet sich in dem entstehenden Gasgemenge ein um so reichlicherer Theil unverzehrten Sauerstoffs neben unverbranntem Kohlenoxyd, je heisser der Verbrennungsraum ist; aber jede eintretende Abkühlung des Gasgemenges hat eine ihrem Maasse entsprechende Vereinigung eines Theils des vorhandenen Sauerstoffs mit Kohlenoxyd zu Kohlensäure zur Folge, so dass bei Gegenwart einer ausreichenden Sauerstoffmenge das Endergebniss in einer vollständigen Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure besteht.

Das Verhalten des Kohlenoxyds, sofern es als selbstständiger Körper in verschiedenen Temperaturen mit Sauerstoff in Berührung tritt, ergiebt sich hieraus von selbst.

Beachtung aber verdient ein Vorgang, welcher auf den gleichen Gesetzen beruht und welchen man als Reduction der Kohlensäure durch Kohle zu bezeichnen pflegt. Mit gleichem Rechte könnte man ihn Verbrennung von Kohlenstoff durch Kohlensäure zu Kohlenoxyd benennen. Der Umstand, dass Kohlensäure eine um so stärkere Neigung zeigt, in Kohlenoxyd und Sauerstoff zu zerfallen, je höher die Temperatur über 1200° steigt, während die Neigung des Sauerstoffs, Kohle zu Kohlenoxyd zu verbrennen, ebenfalls mit der Temperatur zunimmt, ohne in unseren Oefen ihr höchstes Maass zu erreichen, lässt von vorn herein darauf schliessen, dass jenes Zerfallen der Kohlensäure befördert werden müsse, wenn das frei werdende Atom Sauerstoff Gelegenheit findet, ein zweites Atom Kohlenstoff zu verbrennen:

$$CO_2 + C = 2\ CO.$$

Dass die Kohlensäure in hoher Temperatur als kräftiges Oxydationsmittel auch für andere Körper als Kohle, z. B. für metallisches Eisen, zu dienen vermöge, wurde schon oben erwähnt.

der von der Luft durchstrichenen Koks gleich war. Zu den Temperaturmessungen bei Ernst's Versuchen diente ein Pyrometer von Le Chatelier, während bei den meinigen die Temperaturen nur geschätzt werden konnten.

Jene Verbrennung von Kohle durch Kohlensäure beginnt in der That schon in Temperaturen, welche unterhalb der Dissociationsgrenze liegen. Naumann und Pistor fanden z. B. beim Hinüberleiten reiner, trockner Kohlensäure über ausgeglühte Holzkohlen, dass die Einwirkung der Kohlensäure schon bei 550° C. beginnt; das bei ihren Versuchen austretende Gas enthielt in 100 Raumtheilen:[1])

bei etwa 550° C.	. .	12,6 Raumtheile Kohlenoxyd,
„ „ 900° C.	. .	58,3 „ „
„ „ 1000° C.	. .	92,2 „ „

Im Uebrigen wird der Verlauf dieses Vorganges durch die nämlichen Umstände bedingt, welche für die Verbrennung von Kohle in freiem Sauerstoff maassgebend sind. Längere Zeitdauer der gegenseitigen Einwirkung, geringe Dichtigkeit und geringe Stückgrösse der von der Kohlensäure berührten festen Brennstoffe, hohe Temperatur an der Berührungsstelle sind demnach förderlich für die Reduction der Kohlensäure durch Kohlenoxyd. Ueber den Einfluss der Dichtigkeit des mit der Kohlensäure in Berührung tretenden Brennstoffs wurden Versuche durch Bell angestellt,[2]) indem er Kohlensäure unter sonst gleichen Verhältnissen über glühende Kohlen von verschiedener Beschaffenheit leitete und dann die Zusammensetzung des erfolgenden Gasgemenges ermittelte. Er erhielt:

	CO_2		CO	
bei dichten Koks	94,56	Raumtheile	5,44	Raumtheile,
„ porigen „	69,81	„	30,19	„
„ Holzkohlen	35,20	„	64,80	„

Versuche über den Einfluss der mehr oder minder lange ausgedehnten Berührung (der Länge der Brennstoffschicht, mit welcher die Kohlensäure in Berührung tritt) wurden von Naumann und Pistor ausgeführt und in der schon genannten Abhandlung mitgetheilt.

Diese Reduction der Kohlensäure durch Kohlenoxyd spielt eine wichtige Rolle bei zahlreichen Vorgängen. Bei der Verbrennung von Kohle durch freien Sauerstoff vollzieht sich der Vorgang mitunter in der Weise, dass bei der ersten Berührung der beiden Körper zunächst Kohlensäure entsteht, sofern die Bedingungen dafür günstig sind (dichter, grossstückiger Brennstoff, reichliche Vertheilung und schwache Pressung der Luft). Trifft aber die gebildete Kohlensäure in hoher Temperatur wiederum auf Kohlen, so kann sie ein zweites Atom Kohlenstoff verbrennen, dabei in Kohlenoxyd sich verwandelnd. Lässt diese Reduction der Kohlensäure sich verhindern, so erhält man vollständige Verbrennung, im anderen Falle unvollständige.

c) Wasserstoff.

Das oben besprochene Verhalten des Wasserstoffs als Reductionsmittel kennzeichnet auch die Art und Weise seiner Verbrennung durch

1) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Band 18 (1885), S. 1647.

2) The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, I, p. 74; Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Band 21, S. 234; Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, p. 287. Aehnliche Versuche wurden durch Thörner angestellt und in „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 80 veröffentlicht.

freien Sauerstoff. Er ist leicht entzündlich; aber der entstehende Wasserdampf beginnt bei 1000° C. zu zerfallen und bei 2500° hört unter gewöhnlichem Drucke die Vereinigung des Wasserstoffs mit Sauerstoff auf. In dieser Temperatur ist demnach eine Verbrennung des Wasserstoffs unmöglich; aber sie beginnt wieder, wenn das heisse Gemisch von freiem Wasserstoff und freiem Sauerstoff Abkühlung erleidet.

Wasserdampf verhält sich demnach anderen Körpern gegenüber ganz ähnlich wie Kohlensäure: er wirkt um so stärker oxydirend, je höher die Temperatur ist. Auch Kohlenstoff wird durch Wasserdampf in Glühhitze verbrannt; anders ausgedrückt, er reducirt den Wasserdampf, und Wasserstoff wird frei. Ist die Temperatur sehr hoch, so entsteht als Verbrennungserzeugniss des Kohlenstoffs Kohlenoxyd:

$$H_2O + C = 2H + CO;$$

ist sie weniger hoch, so wird Kohlensäure gebildet:

$$2H_2O + C = 4H + CO_2.$$

Kohlenoxyd wird durch Wasserdampf oxydirt ($CO + H_2O = 2H + CO_2$), wenn dieser im Ueberschusse zugegen ist;[1]) umgekehrt kann Kohlensäure durch Wasserstoff zu Kohlenoxyd reducirt werden ($CO_2 + 2H = CO + H_2O$), wenn die Menge des Wasserstoffs überwiegt.[2])

d) Kohlenwasserstoffe.

Von den beiden Bestandtheilen dieser Verbindungen ist der Wasserstoff leichter, der Kohlenstoff schwieriger entzündlich und verbrennlich. Die Folge ist ein Zerfallen der Kohlenwasserstoffe bei der Verbrennung, sofern die Bedingungen für Erzielung einer vollkommenen Verbrennung nicht günstig sind: Wasserstoff verbrennt, Kohlenstoff bleibt entweder im freien Zustande (als Russ) oder in Form wasserstoffärmerer Kohlenwasserstoffe (Theer) unverbrannt. Die Rauch- und Russbildung zahlreicher Feuerungen beruht auf diesem Vorgange und verräth schon dem Auge die stattgehabte unvollständige Verbrennung.

Hohe Temperatur befördert auch hier die chemische Vereinigung des Kohlenstoffs mit Sauerstoff. Wie stets in diesem Falle entsteht, selbst wenn eine zur Kohlensäurebildung ausreichende Sauerstoffmenge vorhanden ist, zunächst Kohlenoxyd neben freiem Sauerstoff, wenn die Dissociationstemperatur überschritten wird, und erst bei stattfindender Abkühlung vereinigen sich beide Körper zu Kohlensäure. Kohlenoxyd aber ist leichter entzündlich (verbrennlich) als Kohlenstoff, und hierin liegt die Erklärung, dass bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen eine hohe Temperatur im Verbrennungsraume bei Anwesenheit einer ausreichenden Sauerstoffmenge in jedem Falle das geeignetste Mittel ist, um Rauch- und Theerbildung zu vermeiden.

e) Allgemeine Regeln zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung.

1. Vollständige Verbrennung ist bei Verbrennung flammender Brennstoffe nur mit einem Ueberschusse von Sauer-

1) „Stahl und Eisen" 1886, S. 4 (Blass); Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Band 18, S. 1647, 2724 und 2894 (Naumann und Pistor).

2) Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, p. 312.

stoff zu ermöglichen.[1]) Verbrennt man also gasförmige Körper durch atmosphärische Luft, so muss mit ihnen so viel der letzteren gemischt werden, dass mehr Sauerstoff zugegen ist, als rechnungsmässig zur vollständigen Verbrennung erforderlich sein würde; verbrennt man festen flammenden Brennstoff auf einem Roste, so muss zwischen dessen Spalten und den Stücken des Brennstoffs hindurch so viel Luft ihren Weg finden, dass die vom Roste aufsteigenden, die Flamme bildenden Gase nicht allein den theoretisch für ihre Verbrennung erforderlichen Sauerstoff finden, sondern dass auch noch überschüssiger Sauerstoff in dem abziehenden Gasgemenge zugegen ist.

Bei Verbrennung nicht flammender Brennstoffe (Holzkohlen, Koks, Anthraciten) ist eine vollständige Verbrennung mit um so geringerem Sauerstoffüberschuss erreichbar, je dichter und grossstückiger die Brennstoffe sind, je reichlicher die Vertheilung und je geringer die Spannung der Luft im Verbrennungsraume ist, und je rascher die beim Zusammentreffen von Brennstoff und Luft entstandene Kohlensäure unter jene Temperatur abgekühlt wird, in welcher sie durch Kohle zu Kohlenoxyd reducirt wird.[2])

2. Eine hohe Temperatur in dem Verbrennungsraume befördert die chemische Vereinigung zwischen dem Sauerstoff und den brennbaren Bestandtheilen und erleichtert somit nach Maassgabe der oben gegebenen Erläuterungen über das Verhalten der in Betracht kommenden Körper bei Benutzung flammender Brennstoffe die Erzielung einer schliesslich vollständigen Verbrennung. Der nach 1. erforderliche Sauerstoffüberschuss kann geringer sein, wenn die Temperatur hoch ist. Rauch- und Russbildung werden, wie schon erwähnt, um so leichter vermieden, je höher die Temperatur im Verbrennungsraume ist.

Bei Verbrennung nichtflammender, aufeinander geschichteter Brennstoffe durch hindurchstreichende Luft übt eine hohe Temperatur scheinbar die entgegengesetzte Wirkung aus: die chemische Thätigkeit des Sauerstoffs wird gesteigert, die doppelte Menge Kohlenstoff als in weniger hoher Temperatur durch die gleiche Menge Sauerstoff verzehrt und Kohlenoxyd statt Kohlensäure wird gebildet, wie oben ausführlicher geschildert worden ist. Der Widerspruch findet unschwer seine Lösung, wenn man erwägt, dass in den Fällen der erwähnten Art nicht der zur Erzielung einer schliesslich vollständigen Verbrennung unentbehrliche Sauerstoffüberschuss zugegen ist, sondern dass umgekehrt im Ver-

1) Auch diese Thatsache entspricht einem allgemeinen Gesetze der Chemie. Jede chemische Reaction erheischt, wenn sie in kurzer Spanne Zeit vollständig verlaufen soll, einen Ueberschuss des Reactionsmittels, dessen Maass von den besonderen, die Reaction erschwerenden oder begünstigenden Verhältnissen (Vereinigungsbestreben der auf einander wirkenden Körper, Temperatur, Verdünnungsgrad u. a. m.) abhängt.

2) Aus diesen Gründen ist man z. B. im Stande, in Kupolöfen — Schachtöfen, in welchen die eintretende Luft eine Brennstoffschicht von mehreren Metern Höhe zu durchdringen hat — eine wenigstens annähernd vollständige Verbrennung zu erreichen, wenn die Oefen mit dichten, grossstückigen Koks geheizt, diese durch schwach gepresste, aber in raschem Wechsel und genügender Vertheilung zuströmende Luft verbrannt werden, und wenn man durch ein reichlich gewähltes Verhältniss der zu erhitzenden Körper zum Brennstoff eine baldige Abkühlung der zuerst gebildeten, im Ofen aufsteigenden Kohlensäure herbeiführt.

brennungsraum dem eintretenden Sauerstoff mehr Kohlenstoff dargeboten wird, als er zu verbrennen überhaupt fähig ist.

3. Innige Mischung der Brennstoffe mit der Verbrennungsluft erleichtert die Erzielung einer vollständigen Verbrennung. Die Gründe hierfür sind leicht einzusehen. Wie bei jedem anderen chemischen Vorgange wird die Vereinigung durch die ausgedehnte gegenseitige Berührung befördert, welche die innige Mischung bewirkt. Daher verbrennen gasförmige Brennstoffe, welche sich leicht mit der Verbrennungsluft mischen lassen, durchschnittlich mit geringerem Luftüberschusse als feste;[1]) ähnlich wie gasförmige Brennstoffe verhalten sich staubförmige (bei Kohlenstaubfeuerungen), welche, mit überschüssiger Luft gemischt, in den stark erhitzten Verbrennungsraum eingeführt werden.[2])

4. Verdünnung der chemisch thätigen Stoffe (Sauerstoff einerseits, Kohlenstoff und Wasserstoff andererseits) mit fremden, unthätig sich verhaltenden Stoffen erschwert die vollständige Verbrennung. Auch dieser Satz ist nur die Anwendung eines allgemeineren Gesetzes der Chemie auf den Vorgang der Verbrennung.

Die atmosphärische Luft besteht aus ungefähr 77 Gewichtstheilen Stickstoff und nur 23 Gewichtstheilen Sauerstoff. Letzterer gelangt also in stark verdünntem Zustande zur Wirkung, und hierdurch erklärt sich die weit kräftigere Wirkung reinen Sauerstoffgases. Verbrennt aber ein Körper mit Flamme, d. h. unter Entwickelung und Fortbewegung brennbarer Gase, so ist an irgend einer Stelle der Flamme der noch vorhandene Sauerstoff um so stärker auch mit den bereits entstandenen Verbrennungserzeugnissen verdünnt, je weiter diese Stelle von der Wurzel der Flamme, wo die Verbrennung begann, entfernt ist. Die Verbrennung würde also nach der Spitze der Flamme zu immer schwieriger werden, wenn sie nicht andererseits durch die nach derselben Richtung hin stattfindende Zunahme der Temperatur — eine Folge der bereits stattgehabten Verbrennung — befördert würde. Trotzdem erhält man, wie bekannt, nicht selten eine an der Spitze rauchende Flamme, wenn man nicht besondere Kunstgriffe anwendet, um die Verbrennung an dieser Stelle zu erleichtern.

Aus dem benachtheiligenden Einflusse, welchen die Verdünnung der zu verbrennenden Körper durch andere Stoffe auf den Verlauf der Verbrennung übt, folgt auch, dass jeder Luftüberschuss, obschon nach Lehrsatz 1. für die vollständige Verbrennung unerlässlich, doch in anderer Hinsicht erschwerend auf diese einwirkt; oder dass, mit anderen Worten, eine Grenze für diesen Luftüberschuss gegeben ist, abhängig

1) Mittel, um eine innige Mischung gasförmiger Brennstoffe mit der Luft zu bewirken, sind z. B.: Einführung beider Körper unter verschiedener Richtung und mit verschiedener Geschwindigkeit in den Verbrennungsraum; einiges Nähere hierüber bei Besprechung der Oefen.

2) Trotzdem sind Kohlenstaubfeuerungen nur vereinzelt und weit seltener als Gasfeuerungen zur Anwendung gelangt. Zwei Umstände liefern die Erklärung hierfür. Ihre Anlage- und Betriebskosten sind, zumal in Rücksicht auf die erforderliche weitgehende Zerkleinerung des Brennstoffs, ziemlich hoch; der Aschengehalt des Brennstoffs aber, welcher in dem Feuerungsraume zurückbleibt, pflegt hier in mehrfacher Beziehung lästig zu werden.

von der Beschaffenheit des Brennstoffs, der Einrichtung der Feuerung, der im Feuerungsraume herrschenden Temperatur, über welche hinaus die Vollständigkeit der Verbrennung durch einen weitern Ueberschuss Einbusse erleiden muss.

3. Wärmeerzeugung und Verbrennungstemperatur.

a) Wärmeerzeugung.

Sofern ein Körper dazu bestimmt ist, als Brennstoff zu dienen, d. h. sofern die Wärmeentwickelung der eigentliche Zweck seiner Verbrennung ist, hängt sein Werth zum grossen Theile ab von der Wärmemenge, welche er bei der Verbrennung liefert. Man kann die von der Gewichtseinheit (z. B. 1 kg) des Körpers bei der Verbrennung entwickelte Wärmemenge als seine Wärmeleistung oder seinen Brennwerth bezeichnen, und man misst diese Wärmemenge nach Wärmeeinheiten (in Folgendem mit W.-E. bezeichnet) oder Calorien, wobei man unter einer Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge versteht, welche erforderlich ist, die Temperatur einer Gewichtseinheit (1 kg) Wasser von Null Grad auf 1 Grad zu erhöhen.

Aber auch die Verbrennungswärme vieler solcher Körper, welche nicht eigentlich als Brennstoffe zu dienen berufen sind, spielt eine Rolle in der Metallurgie.

Wenn z. B. bei einem metallurgischen Vorgange Oxydation einzelner Bestandtheile der in Verarbeitung begriffenen Metalle oder metallischen Verbindungen eintritt und dabei Wärme entwickelt wird, so kann diese entwickelte Wärme Einflüsse auf den Verlauf des betreffenden Vorgangs ausüben. Anderntheils ist, wie schon auf Seite 37 gesagt wurde, zu der Reduction eines Körpers aus seinen Verbindungen genau dieselbe Wärmemenge erforderlich, welche bei der Bildung der Verbindungen frei wurde, und dieser Wärmeverbrauch muss, wenn die Reduction gelingen soll, gedeckt werden.

Leider ist unsere Kenntniss von der durch die Verbrennung erzeugten oder für die Reduction erforderlichen Wärme hinsichtlich mancher Körper, welche bei den Vorgängen der Eisendarstellung handelnd auftreten, noch unvollständig, und nicht selten müssen wir uns mit Annäherungswerthen begnügen, wenn wir durch Rechnung uns über die Ausnutzung der Wärme bei diesem oder jenem Vorgange Auskunft zu verschaffen beabsichtigen. Besonders erschwert wird die Benutzung vorhandener Ermittelungen über die Verbrennungswärme in solchen Fällen, wo der betreffende Körper mehr als eine Verbindung mit Sauerstoff einzugehen im Stande ist (Eisen, Mangan u. a.); denn häufig ist die Verbrennungswärme nur einer dieser Oxydationsstufen bestimmt, und die Beobachtung im Betriebe sowohl als die Wissenschaft lehren uns, dass bei der Bildung mehrerer Oxydationsstufen desselben Körpers, insbesondere auch Metalls, die erzeugte Wärme nicht im gleichen Verhältnisse zu der verbrauchten Sauerstoffmenge steht.[1])

1) Thomsen sagt in seinen Thermochemischen Untersuchungen, Band 3, Seite 527: „Kann ein Metall mehrere Sauerstoffverbindungen bilden, so beobachtet man

Aber nicht allein bei der Verbrennung eines Körpers wird Wärme erzeugt. Auch die Entstehung anderer Verbindungen oder Lösungen ist häufig mit einer Wärmeentwickelung, in einzelnen Fällen auch mit einem Wärmeverbrauche verbunden, und die nämliche Wärmemenge kommt wieder im entgegengesetzten Sinne in Betracht, wenn die Verbindung zerlegt wird. Bei der Entstehung der wichtigen Vereinigungen (Legirungen) des Eisens mit Mangan oder dieser Metalle mit Kohle, Silicium, Phosphor, Schwefel u. a., bei der Entstehung und Zerlegung von Silicaten, Phosphaten u. s. w., bei der Zerlegung der Hydroxyde und Carbonate des Eisens und Mangans, welche wichtige Erzgattungen bilden, und in ähnlichen Fällen findet Entwickelung oder Verbrauch von Wärme statt; aber unsere Kenntniss dieser sogenannten Wärmetönungen ist, zumal wenn es sich um feuerflüssige Lösungen oder Verbindungen handelt, noch ziemlich beschränkt.

Die Ziffern für die Verbrennungswärme der wichtigsten bei der Darstellung des Eisens in Betracht kommenden Körper sind, soweit unsere jetzige Kenntniss es gestattete, in Folgendem zusammengestellt; über den Wärmeverbrauch zur Zerlegung von Carbonaten und Hydroxyden werden in den einzelnen Fällen, wo dieser Wärmeverbrauch in Betracht kommt, die betreffenden Angaben gemacht werden.

Kohlenstoff. Die Verbrennungswärme der verschiedenen Formen der Kohle (Graphit, Holzkohle, Diamant) ist, wie Favre und Silbermann fanden, nicht genau gleich. Sie schwankt bei der Verbrennung eines Kilogramms Kohle zu Kohlensäure zwischen 7770 und 8080 W.-E.[1]) Der nicht beträchtliche Unterschied lässt sich bei den Wärmeberechnungen der Vorgänge des Eisenhüttenbetriebes um so eher vernachlässigen, als es sich hierbei aus den schon berührten Gründen überhaupt nur um Annäherungswerthe handeln kann. Folgende Werthe sollen bei den späteren Berechnungen benutzt werden:

1 kg Kohlenstoff (im festen Zustande) entwickelt:

bei der Verbrennung mit $^4/_3$ kg Sauerstoff zu $^7/_3$ kg Kohlenoxyd **2470** W.-E.
" " " " $^8/_3$ " " " $^{11}/_3$ " Kohlensäure **8080** "

Sowohl bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd als zu Kohlensäure ist eine Vergasung des Kohlenstoffs erforderlich, welche in beiden Fällen den gleichen Wärmeverbrauch erheischt. Hieraus erklärt sich die Thatsache, dass die gleiche Menge Kohle, obgleich sie bei Kohlensäurebildung nur die doppelte Menge Sauerstoff als bei Kohlenoxydbildung verbraucht, doch in dem ersteren Falle mehr als die dreifache Wärmemenge entwickelt.

Kohlenoxyd. Die Wärmeentwickelung bei Verbrennung zu Kohlensäure lässt sich aus dem Vorausgehenden ableiten. Da $^7/_3$ kg Kohlenoxyd bei der Verbrennung zu Kohlensäure 8080 — 2470 = 5610 W.-E. entwickeln, liefert 1 kg Kohlenoxyd bei der Verbrennung mit $^4/_7$ kg Sauerstoff zu $^{11}/_7$ kg Kohlensäure **2400** W.-E.[2])

fast überall, dass das normale Verbrennungsprodukt des Metalls die grösste Bildungswärme besitzt, d. h. für die gleiche Menge Sauerstoff die grösste Wärmeentwickelung giebt."

1) Annales de chimie et de physique, série 3, tome 34. Erklärung dieser Abweichungen: Hans Jahn, Die Grundsätze der Thermochemie, 2. Auflage, S. 15.

2) Nach Berthelot liefern $^7/_3$ kg Kohlenoxyd 5683 W.-E.; also 1 kg 2436 W.-E. Annales de chimie et de physique, série 5, tome 13, p. 13. Die oben angestellte

Wasserstoff. Bei der Verbrennung von 1 kg Wasserstoff mit der achtfachen Gewichtsmenge Sauerstoff zu 9 kg Wasserdampf (nur dieser, nicht flüssiges Wasser kann bei Feuerungen in Betracht kommen) werden nach Regnault 28 780 W.-E. entwickelt.

Kohlenwasserstoffe. Eine sichere Berechnung der Wärmeleistung dieser Verbindungen, zu welchen im weitern Sinne auch die natürlich vorkommenden Brennstoffe gehören, aus der Wärmeleistung ihrer Bestandtheile ist nicht möglich, weil man die bei ihrer Bildung verbrauchte oder frei gewordene Wärme nicht kennt. Die durch Versuche ermittelten Ziffern der Verbrennungswärme natürlicher Brennstoffe werden bei Besprechung der letzteren mitgetheilt werden; unter den Kohlenwasserstoffen bestimmter chemischer Zusammensetzung verdienen das Methan CH_4 (Sumpfgas, Grubengas, leichtes Kohlenwasserstoffgas) und das Aethylen C_2H_4 (schweres Kohlenwasserstoffgas, ölbildendes Gas) hier erwähnt zu werden.

Methan (chemische Formel CH_4) entwickelt bei der Verbrennung mit der vierfachen Gewichtsmenge Sauerstoff zu Kohlensäure und Wasserdampf 12 000 W.-E.[1])

Aethylen (chemische Formel C_2H_4) entwickelt bei seiner Verbrennung mit der dreieinhalbfachen Gewichtsmenge Sauerstoff zu Kohlensäure und Wasserdampf 11 200 W.-E.[2])

Eisen. Wenn Eisen aus seinen Sauerstoffverbindungen reducirt wird, und wenn eine Verbrennung von Eisen stattfindet, ist dessen Verbrennungswärme von Belang. Nun vermag aber das Eisen, wie bekannt, verschiedene Sauerstoffverbindungen einzugehen, von denen das Eisenoxydul (FeO) und Eisenoxyd (Fe_2O_3) eine bestimmte chemische Zusammensetzung besitzen, während die Zusammensetzung des Eisenoxyduloxyds, für welche man in chemischen Lehrbüchern die Formel Fe_3O_4 angegeben findet, nicht stets die gleiche ist, sondern zwischen FeO und Fe_2O_3 schwankt.

Bei der Bildung dieser verschiedenen Oxyde liefert die gleiche Menge Sauerstoff, entsprechend der schon oben mitgetheilten Beobachtung, um so weniger Wärme, je sauerstoffreicher die Verbindung ist.

Dulong fand bei der Verbrennung des Eisens mit Sauerstoff zu Eisenoxyduloxyd für 1 kg verbranntes Eisen 1648 W.-E.,[3]) Andrews auf demselben Wege 1582 W.-E.[4]) Der Unterschied ist in dem Umstande begründet, dass bei der Verbrennung des Eisens nicht immer genau dieselbe Oxydationsstufe entsteht; eine Untersuchung des verbrannten Eisens auf seinen Sauerstoffgehalt fand aber in den erwähnten Fällen nicht statt. Mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit lässt sich annehmen, dass das Verbrennungserzeugniss bei Dulong's Versuch an-

Berechnung der Wärmeleistung stützt sich auf das von Hess bewiesene Gesetz, dass die bei einem chemischen Vorgange stattfindende Wärmeentwickelung stets die nämliche ist, gleichviel, ob der Vorgang auf einmal oder in beliebig vielen getrennten Abtheilungen verlaufe (Poggendorff's Annalen, Band 50, Seite 385).

1) Nach Thomsen, Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Bd. 13, S. 1324.

2) Naumann, Die Heizungsfrage, Seite 49.

3) Poggendorff's Annalen, Band 45, Seite 161.

4) Ebend. Band 75, Seite 45.

nähernd der Formel Fe_3O_4 entsprach, während bei Andrews' Versuchen ein etwas weniger hoch oxydirtes Eisen erfolgte. Die von Dulong gefundene Ziffer (**1648** W.-E. bei Verbrennung zu Fe_3O_4) soll deshalb auch bei den späteren Berechnungen zu Grunde gelegt werden.

Bei Bildung von Eisenoxydul (FeO) auf nassem Wege fanden Favre und Silbermann die Wärmeentwickelung für 1 kg Eisen 1351 W.-E.[1]) Da Eisenoxyduloxyd (Fe_3O_4) aus $FeO + Fe_2O_3$ bestehend gedacht werden kann, ergiebt unter Benutzung der von Dulong, Favre und Silbermann gefundenen Ziffern die Rechnung eine Wärmeentwickelung bei der Bildung des Eisenoxydes Fe_2O_3 für 1 kg oxydirtes Eisen (oder den Wärmeverbrauch zur Reduction dieser Verbindung) gleich **1796** W.-E., wobei allerdings die bei der Vereinigung des Oxyduls mit Oxyd zu Oxyduloxyd etwa eintretende Wärmeentwickelung unberücksichtigt geblieben ist.

Man hat also in abgerundeten Ziffern folgende Werthe für die Verbrennungs- oder die Reductionswärme des Eisens:

a) auf 1 kg Eisen bezogen:

bei der Bildung oder Reduction von Eisenoxydul FeO . .	**1350** W.-E.
„ „ „ „ „ „ Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4	**1650** „
„ „ „ „ „ „ Eisenoxyd Fe_2O_3 . .	**1800** „

b) auf 1 kg Sauerstoff bezogen:

bei der Bildung oder Reduction von Eisenoxydul FeO . .	**4730** W.-E.
„ „ „ „ „ „ Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4	**4330** „
„ „ „ „ „ „ Eisenoxyd Fe_2O_3 . . .	**4190** „ [2])

Mangan. Von den verschiedenen Sauerstoffverbindungen des Mangans kommen bei der Darstellung des Eisens vorzugsweise das Manganoxydul (MnO), als diejenige Form, in welcher das Mangan in allen Schlacken auftritt, das Manganoxyduloxyd Mn_3O_4, welches beim Glühen sämmtlicher Manganoxyde entsteht, und das Mangandioxyd MnO_2 als Hauptbestandtheil des wichtigsten Manganerzes (Braunsteins) in Betracht. Leider sind die vorliegenden Ermittelungen über die Verbrennungswärme des Mangans noch ziemlich lückenhaft. Wedding berechnete aus An-

1) Annales de chimie et de physique, série 3, tome 37, p. 485. Favre und Silbermann geben an, dass 1 Aequivalent Eisen 37 828 W.-E. entwickele. 1 Aequivalent sind 28 Gewichtstheile; hieraus ergiebt sich die oben mitgetheilte Ziffer.

2) Wedding (Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Band 1, Seite 923) giebt folgende Ziffern für die Verbrennungswärme von 1 kg Eisen:

bei der Bildung von Eisenoxydul FeO	1332 W.-E.
„ „ „ „ Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4 . .	1648 „
„ „ „ „ Eisenoxyd Fe_2O_3	1876 „

Hiernach würde 1 kg Sauerstoff bei der Bildung des weniger beständigen Eisenoxyds Fe_2O_3 mehr Wärme entwickeln als bei der Bildung des Eisenoxyduloxyds Fe_3O_4, was nicht wahrscheinlich ist.

Durch den unmittelbaren Versuch fand H. Le Chatelier (Comptes rendus, vol. 120, p. 624) die Verbrennungswärme von 1 kg Eisen

bei der Bildung von Eisenoxydul FeO	1153 W.-E.
„ „ „ „ Eisenoxyd Fe_2O_3	1735 „

und die durch 1 kg Sauerstoff bei Entstehung sämmtlicher Oxydationsstufen entwickelte Wärme übereinstimmend = 4040 W.-E., was ebenfalls um so geringere Wahrscheinlichkeit für sich hat, da die Ziffern niedriger sind als alle früher gefundenen.

gaben Thomsen's über die Wärmetönungen bei der Entstehung von Hydroxyden und Sulfaten des Mangans die Wärmeentwickelung bei der Verbrennung von 1 kg Mangan zu Manganoxydul = 1817 W.-E., zu Manganoxyduloxyd = 1947 W.-E., zu Mangandioxyd = 2209 W.-E.;[1]) H. Le Chatelier fand durch Versuche die Wärmeentwickelung bei Verbrennung von 1 kg Mangan zu Manganoxydul = 1651 W.-E., zu Manganoxyduloxyd = 1987 W.-E., zu Mangandioxyd = 2290 W.-E.[2]) Nimmt man von beiden Bestimmungen die Mittelwerthe in abgerundeten Ziffern, so erhält man

a) auf 1 kg Mangan bezogen:

bei der Bildung oder Reduction von Manganoxydul MnO . . = **1730** W.-E.
" " " " " " Manganoxyduloxyd Mn_3O_4 = **1970** "
" " " " " " Mangandioxyd MnO_2 . . = **2250** "

b) auf 1 kg Sauerstoff bezogen:

bei der Bildung oder Reduction von Manganoxydul MnO . . = **5950** W.-E.
" " " " " " Manganoxyduloxyd Mn_3O_4 = **5080** "
" " " " " " Mangandioxyd MnO_2 . . = **3870** "

Silicium. Bei den Vorgängen der Eisendarstellung ist nur das eine Oxyd dieses Körpers, die Kieselsäure SiO_2, von Belang. Nach Versuchen von Troost und Hautefeuille[3]) beträgt die Verbrennungswärme des Siliciums bei der Entstehung jener Verbindung **7830** W.-E. für 1 kg Silicium, also für 1 kg Sauerstoff **6850** W.-E.

Phosphor. Nur die Bildungs- und Zerlegungswärme des Phosphorsäureanhydrids P_2O_5 kommt bei den Verfahren der Eisendarstellung in Betracht. Dulong[4]) fand eine Wärmeentwickelung von 5760 W.-E. bei Verbrennung von 1 kg Phosphor;[5]) Thomsen fand 5966 W.-E.; Adria 5851 W.-E.; Andrews 5932 W.-E.[6]) Als Mittelwerth in runder Ziffer sind **5900** W.-E. anzunehmen. 1 kg Sauerstoff liefert demnach bei der Bildung jener Verbindung **4572** W.-E.

Aluminium. Man benutzt dieses Metall als Zusatz zu geschmolzenem Eisen, wenn dieses Gelegenheit gehabt hatte, Sauerstoff aufzunehmen, zur Zerstörung des hierbei gebildeten und im Metalle gelösten Eisenoxyduls ($2\,Al + 3\,FeO = Al_2O_3 + 3\,Fe$). Wedding nimmt als Wärmeentwickelung bei Verbrennung von 1 kg Aluminium 7241 W.-E. an;[7]) Thomsen fand bei der Bildung des Hydrats Al_2O_3, $3\,H_2O$ die Wärmeentwickelung für das Doppelatom Al_2 = 388920 W.-E.,[8]) also, wenn das

1) Eisenhüttenkunde, Band 1, Seite 924; Thomsen, Thermochemische Untersuchungen, Band 3, Seite 269 und 526.
2) Comptes rendus, vol. 122, p. 81.
3) Comptes rendus, vol. 70, p. 254; Dingler's polyt. Journal 1870, 1. Aprilheft.
4) Poggendorff's Annalen, Band 45, S. 461.
5) Thomsen, Thermochemische Untersuchungen, Band 2, Seite 226 und 409.
6) Thermochemische Untersuchungen, Band 3, Seite 239. Nach Berthelot ist die Wärmeentwickelung 7900 W.-E. (Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 172).
7) Eisenhüttenkunde, Band 1, Seite 926. Woher die Ermittelung stammt, ist nicht angegeben.
8) Thermochemische Untersuchungen, Band 3, Seite 240.

Atomgewicht des Aluminiums = 27,04 angenommen wird, die Wärmeentwickelung für 1 kg = 7191 W.-E.; Berthelot fand nach einer Angabe Weddings[1]) 7212 W.-E. Als Mittelwerth kann man, ohne von der Wahrheit sehr abzuweichen, die Wärmeentwickelung durch 1 kg verbrennendes Aluminium = **7200** W.-E. annehmen; auf 1 kg Sauerstoff bezogen = **8100** W.-E.

b) Verbrennungstemperatur.

Der Verlauf zahlreicher Verfahren der Eisendarstellung ist von der dabei entwickelten Temperatur abhängig; einige von ihnen erheischen zum Gelingen so hohe Temperaturen, dass es besonderer Maassnahmen zu deren Erzeugung bedarf. Es ist deshalb nothwendig, dass man die Umstände kenne, durch welche die bei der Verbrennung eines Körpers entstehende Temperatur bedingt ist. Zur Erlangung dieser Kenntniss vergegenwärtige man sich, dass die bei der Verbrennung entwickelte Wärme zunächst von den Verbrennungserzeugnissen (einschliesslich des Stickstoffes der benutzten atmosphärischen Luft, des überschüssig in das Gasgemenge geführten Sauerstoffs, der entstandenen Asche u. s. w.) aufgenommen wird, diese auf eine Temperatur erhitzend, welche abhängig ist von der Menge jener Verbrennungserzeugnisse und von ihrer specifischen Wärme. Bezeichnet man mit W die gesammte entwickelte Wärme in W.-E., mit T die Temperatur der Verbrennungserzeugnisse (Verbrennungstemperatur), mit $Q_1\,Q_2\,Q_3 \ldots$ das Gewicht der Verbrennungserzeugnisse, mit $s_1\,s_2\,s_3 \ldots$ ihre specifische Wärme, so ist:

$$W = T\,(Q_1 s_1 + Q_2 s_2 + Q_3 s_3 + \ldots),$$

und demnach die theoretische Verbrennungstemperatur:

$$T = \frac{W}{Q_1 s_1 + Q_2 s_2 + Q_3 s_3 + \ldots}$$

Da jedoch ausser den Verbrennungserzeugnissen in allen Fällen fremde Körper zugegen sind, welche sofort Wärme aufnehmen, z. B. die Wände des Heizraums, die in den Heizraum zum Zwecke ihrer Erhitzung gebrachten Körper u. a. m., so ist die bei einer Verbrennung wirklich erzeugte Temperatur stets niedriger, als die nach obiger Formel berechnete. Ausserdem darf man bei der Berechnung nicht ausser Acht lassen, dass die Dissociationstemperatur der Verbrennungserzeugnisse überhaupt nicht überschritten werden kann. Berechnet man z. B. nach obiger Formel die theoretische Verbrennungswärme des Wasserstoffs unter der Annahme, dass weder überschüssige Luft noch unverbrannter Wasserstoff in die Verbrennungserzeugnisse geführt werde, so ergiebt sich bei der Verbrennung mit Luft eine theoretische Verbrennungstemperatur von 2665° C., bei Verbrennung mit reinem Sauerstoff sogar von 6670° C. In Wirklichkeit aber kann der bei Verbrennung des Wasserstoffs entstehende Wasserdampf in Temperaturen von über 2500° C. nicht mehr bestehen, er wird dissociirt. Der Vorgang vollzieht sich also in der Weise, dass nur ein Theil des Wasserstoffs wirklich verbrannt wird, der übrige Theil nebst dem zugehörigen Sauerstoff und dem von diesem

1) A. a. O.

etwa mitgebrachten Stickstoff aber lediglich Wärme aufnimmt, also in den Nenner des Bruchs

$$\frac{W}{Q_1 s_1 + Q_2 s_2 + \ldots}$$

eingeht, ohne Wärme zu entwickeln. Immerhin giebt die Formel ein werthvolles Hülfsmittel, um die bei Anwendung verschiedener Brennstoffe erreichbaren Temperaturen zu vergleichen und den Grad der Verwendbarkeit des einen oder des anderen Brennstoffs für diesen oder jenen Zweck darnach zu bemessen. Für die Einflüsse aber, welche hinsichtlich der Verbrennungstemperatur in Betracht kommen, lassen sich folgende Schlüsse aus jener Formel ableiten.

Zunächst zeigt sich, dass die theoretische Verbrennungstemperatur unabhängig ist von der Menge des verbrauchten Brennstoffs; denn in dem nämlichen Verhältnisse steigt und fällt mit der Menge des Brennstoffs sowohl im Zähler der Formel die erzeugte Wärmemenge als im Nenner die Menge der Verbrennungserzeugnisse. Es lässt sich jedoch leicht ermessen, dass die wirkliche Temperatur in irgend einer Heizvorrichtung durch Verbrennung reichlicherer Brennstoffmengen gesteigert werden muss, wenn die Wärmeabgabe an fremde Körper, an die Ofenwände u. s. w., nicht in dem gleichen Maasse zunimmt, was sich auch im gewöhnlichen Leben häufig beobachten lässt.[1])

Eine Steigerung der Temperatur muss eintreten, wenn man von aussen her, z. B. durch Vorwärmung der Verbrennungsluft oder der Brennstoffe, Wärme zuführt, welche beim Verbrennungsvorgange nutzbar gemacht wird; denn man erhält in diesem Falle bei Anwendung derselben Menge Brennstoff eine grössere Wärmemenge als zuvor ohne Vermehrung der Verbrennungserzeugnisse; der Werth W in obiger Formel wird grösser, während der Nenner unverändert bleibt, und die Zahl T wächst daher in gleichem Verhältnisse mit W.

Zur bessern Verdeutlichung dieser für die Höhe der Verbrennungstemperatur maassgebenden Einflüsse möge zunächst der Fall berechnet werden, wenn Kohlenstoff ohne Vorwärmung durch Luft von gewöhnlicher Temperatur zu Kohlenoxyd verbrannt wird.[2]) Nach Früherem beträgt die durch 1 kg Kohlenstoff hierbei entwickelte Wärme 2470 W.-E.; die Verbrennungserzeugnisse aus 1 kg Kohlenstoff bestehen aus 2,33 kg Kohlenoxyd mit der specifischen Wärme 0,248 und 4,46 kg Stickstoff[3]) mit der specifischen Wärme 0,244; demnach würde die theoretische Verbrennungstemperatur sein:

$$T = \frac{2470}{2{,}33 \times 0{,}248 + 4{,}46 \times 0{,}244} = 1485^\circ \text{C.}$$

Nimmt man dagegen an, dass die zur Verbrennung bestimmte Kohle innerhalb eines mit Schmelzmaterialien und Kohle gefüllten Ofens, z. B. eines Hochofens, allmählich den aufsteigenden heissen Verbrennungsgasen entgegengerückt und dabei selbst schon auf eine Temperatur von 1200° C. erwärmt sei, ehe sie in den Verbrennungsraum des Ofens gelangt, so bringt jedes Kilogramm Kohle, wenn man ihre specifische

1) Wenn daher in einem Schmelzofen das Verhältniss des Brennstoffgewichts zu dem Gewichte der zu schmelzenden Körper vergrössert wird, muss die wirkliche Temperatur innerhalb des Ofens steigen; im umgekehrten Falle muss sie abnehmen.

2) Kohle entzündet sich allerdings erst bei etwa 400° und muss demnach an der Entzündungsstelle auf diese Temperatur vorgewärmt werden. Auch die Luft bringt, wenn sie wärmer ist, als Null Grad, eine kleine Wärmemenge mit. Beide Umstände können hier, wo es sich nur um einen allgemeinen Vergleich handelt, vernachlässigt werden.

3) 1 kg Kohlenstoff bedarf zur Verbrennung $^4/_3$ kg Sauerstoff, welcher in der atmosphärischen Luft gemischt ist mit $^4/_3 \cdot {^{77}/_{23}} = 4{,}46$ kg Stickstoff.

Wärme in dieser Temperatur $=0{,}22$ annimmt, schon $1200 \times 0{,}22 = 264$ W.-E. in den Verbrennungsraum mit. Ausserdem sei die zur Verbrennung bestimmte Luft in besonderen Heizvorrichtungen auf 600^{0} C. vorgewärmt und ihre specifische Wärme in dieser Temperatur sei $=0{,}237$, so führt die zur Verbrennung von 1 kg Kohle erforderliche Luft, deren Menge $1{,}33$ kg $+ 4{,}46$ kg $= 5{,}79$ kg beträgt, dem Ofen $5{,}79 \times 600 \times 0{,}237 = 823$ W.-E. zu. Es ist dann die gesammte, bei Verbrennung von 1 kg Kohle gewonnene Wärmemenge $2470 + 264 + 823 = 3557$ W.-E., während die Menge der erfolgenden Verbrennungserzeugnisse die nämliche bleibt als in dem früheren Beispiele; daher die theoretische Verbrennungstemperatur

$$T = \frac{3557}{2{,}33 \times 0{,}248 + 4{,}46 \times 0{,}244} = 2135^{0}\,\mathrm{C}.$$

Das Beispiel zeigt deutlich, wie erheblich die Verbrennungstemperatur gesteigert wird, wenn man Wärme zuführt, ohne die Menge der Verbrennungserzeugnisse zu vermehren; insbesondere also, wenn man den Brennstoff und die Verbrennungsluft vorwärmt. Zur Erzielung hoher Temperaturen bildet diese Vorwärmung ein in der Neuzeit häufig benutztes Mittel sowohl bei der Verbrennung fester, nichtflammender Brennstoffe (im Hochofen), als bei der Verbrennung von Gasen.

Umgekehrt bewirkt jede Vermehrung der Verbrennungserzeugnisse ohne gleichzeitige entsprechende Vergrösserung der Wärmemenge eine Erniedrigung der Verbrennungstemperatur. Von zwei Brennstoffen mit gleicher Wärmeleistung erzeugt im Allgemeinen derjenige die höhere Verbrennungstemperatur, welcher die geringere Luftmenge zur Verbrennung gebraucht; jede überschüssig in das Gemisch der Verbrennungsgase geführte Luftmenge erniedrigt die Verbrennungstemperatur. Nach Früherem aber ist eine vollständige Verbrennung, welche allein die volle Ausnutzung des Brennstoffs gestattet, ohne einen Sauerstoffüberschuss nicht erreichbar, und letzterer wiederum kann geringer ausfallen, wenn die Temperatur in dem Verbrennungsraume hoch ist. Hieraus ergiebt sich ein zweiter günstiger Einfluss jener Vermehrung der Wärme durch Zuführung von aussen (Vorwärmung der Brennstoffe und der Luft), welcher besonders deutlich bei Gasfeuerungen zur Geltung gelangt: indem man zunächst unmittelbar eine Temperatursteigerung hervorruft, erleichtert man die Verbrennung, ermöglicht also die Abminderung des erforderlichen Sauerstoffüberschusses und erhöht dadurch abermals die Temperatur, bis jene Grenze erreicht ist, wo die Dissociation der Verbrennungsgase der weiteren Steigerung ein Ziel setzt.

In noch stärkerem Maasse als überschüssige Luft bewirkt Wasserdampf, welcher, dem Wassergehalte des Brennstoffs oder der Verbrennungsluft entstammend, unzersetzt in das Gasgemisch eintritt, eine Erniedrigung der Verbrennungstemperatur, da seine specifische Wärme (0,475) beträchtlicher ist, als die irgend eines anderen gasförmigen Verbrennungserzeugnisses. Es erklärt sich hieraus, dass wasserreiche Brennstoffe niemals fähig sind, hohe Verbrennungstemperaturen zu liefern.

Umgekehrt ist aus den nämlichen Gründen eine beträchtliche Erhöhung der Verbrennungstemperatur zu erzielen, wenn man statt der atmosphärischen Luft reinen oder doch weniger stark durch Stickstoff verdünnten Sauerstoff verwendet, und mit geringerem Sauerstoffüberschusse ist in diesem Falle die vollständige Verbrennung zu ermöglichen. Leider ist bis jetzt kein Mittel zur Erreichung dieses Zieles bekannt, dessen Benutzung im Grossen ausreichend billig wäre.

4. Wärmeabgabe.

In den meisten Fällen ist die Erwärmung fremder Körper der nächste Zweck bei der Wärmeentwickelung durch Verbrennung eines Brennstoffs. Die wärmeabgebenden Körper sind die Verbrennungserzeugnisse und daher meistens — bei den Brennstoffen im engeren Sinne regelmässig — gasförmig. Verschiedene Umstände können die Wärmeabgabe beeinflussen. Sie wird begünstigt:

1. Durch einen grossen Temperaturunterschied der wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Körper; also allgemein durch eine hohe Temperatur der ersteren. Bezeichnet t den Temperaturunterschied, so steigert sich nach Versuchen von Dulong und Petit[1]) bei dessen Zunahme die Geschwindigkeit der Wärmeabgabe in dem Verhältnisse $t^{1,232}$. Hieraus folgt, dass alle jene besprochenen Mittel, welche die Erzielung hoher Verbrennungstemperaturen bewirken, auch die Wärmeabgabe begünstigen.

2. Durch längere Zeitdauer der Einwirkung. Dieser Satz bedarf keines Beweises, erklärt aber mancherlei Vorkommnisse des Betriebes. Je länger die Verbrennungsgase innerhalb eines Ofens mit den zu erhitzenden Körpern in Berührung bleiben, desto mehr Wärme können sie an diese abgeben, desto abgekühlter verlassen sie den Ofen.

3. Durch grosse Berührungsfläche zwischen den wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Körpern.

4. Durch ein grosses Wärmeleitungsvermögen der zu erwärmenden Körper, welche die Wärme zunächst an ihrer Aussenfläche aufnehmen und dann nach den inneren Theilen hin fortpflanzen.

5. Durch entgegengesetzte Bewegung der zu erwärmenden und der wärmeabgebenden Körper. Dieser unter dem Namen Gegenstromgesetz bekannte Lehrsatz ist von grosser Bedeutung für die Wärmeabgabe bei irgend einem Vorgange. Man erreicht durch die entgegengesetzte Bewegung nicht allein eine längere gegenseitige Einwirkung, sondern man bewirkt auch, dass die Temperaturunterschiede zwischen beiden Körpern weniger rasch als im andern Falle ausgeglichen werden. Denkt man sich z. B., dass an dem einen Ende einer geschlossenen Heizvorrichtung (eines Ofens) die heissen Verbrennungsgase eintreten und den am entgegengesetzten Ende eintretenden zu erwärmenden Körpern entgegenrücken, so können sie auf ihrem Wege ununterbrochen Wärme an diese abgeben und bei ausreichend langer Einwirkung auf fast die Anfangstemperatur des zu erwärmenden Körpers abgekühlt werden, bevor sie den Ofen verlassen; treten aber beide an derselben Stelle ein und bewegen sich in gleicher Richtung, oder verharrt der zu erwärmende Körper in Ruhe, so können die wärmeabgebenden Körper nur auf diejenige Temperatur abgekühlt werden, welche jener Körper selbst bei der gegenseitigen Einwirkung annimmt; die Erhitzung dieses letzteren (welche im ersteren Falle bis fast auf die Anfangstemperatur der wärmeabgebenden Körper gesteigert werden kann) ist geringer, die Wärmeausnutzung ungünstiger.

1) Annales de chimie et de physique, sér. 1, t. 7, p. 225; vergleiche auch dieselbe Zeitschrift, sér. 3, t. 16, p. 337.

Litteratur.

Einzelne Werke.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, übersetzt von Franz Kupelwieser. Paris 1877. S. 43—70.

Dr. Hermann Wedding, Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde. 2. Auflage, Band 1. Braunschweig 1891—1896. S. 904—934.

A. Ledebur, Die Oefen für metallurgische Processe. Freiberg 1878. S. 1—23.

Fr. Siemens, Ueber den Verbrennungsprocess mit besonderer Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse. Berlin 1887.

F. Fischer, Feuerungsanlagen für häusliche und gewerbliche Zwecke. Karlsruhe 1889.

Abhandlungen in Zeitschriften.

A. Ledebur, Reduction und Oxydation. Berg- und hüttenm. Ztg. 1879, S. 393.

R. Åkerman, Verhalten von oxydirtem und metallischem Eisen zu Kohlenoxyd, Wasser und Wasserstoff. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1876, S. 425.

A. Ledebur, Wird bei der Verbrennung von Kohle durch hohe Temperatur Kohlensäure- oder Kohlenoxydgasbildung befördert? „Stahl und Eisen", 1882, S. 356.

Naumann und Pistor, Ueber Reduction des Kohlendioxyds durch Kohle zu Kohlenoxyd. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Band 18, S. 1647.

R. Ernst, Experimentelle Beiträge zur Kenntniss der Vorgänge bei der Verbrennung von Kohle in Luft. Journal für praktische Chemie, Neue Folge, Band 48 (1893), S. 31.

E. Blass, Zur Berechnung der Flammentemperaturen. „Stahl und Eisen", 1892, S. 893.

H. v. Jüptner, Heizversuche an Kesselfeuerungen. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1894, S. 525, 546, 562, 572.

III. Die Brennstoffe.

Unter der Bezeichnung Brennstoff im weiteren Sinne kann man jeden Körper verstehen, durch dessen Verbrennung nutzbare Wärme geliefert wird. Von diesem Gesichtspunkte aus lassen sich auch Eisen, Mangan, Silicium, Phosphor, Aluminium zu den Brennstoffen des Eisenhüttenbetriebes zählen, denn die von ihnen bei der Verbrennung entwickelte Wärme spielt thatsächlich eine Rolle bei einzelnen Vorgängen der Eisendarstellung, und ohne diese Wärmeentwickelung würden jene Verfahren mitunter unausführbar sein.

In Folgendem soll jedoch nur von denjenigen Brennstoffen die Rede sein, welche auch im engeren Sinne diese Bezeichnung verdienen, insofern die Wärmeentwickelung den eigentlichen Zweck ihrer Verwendung bildet.

1. Feste rohe Brennstoffe.

a) Das Holz.

Es besteht aus der eigentlichen Holzmasse, der Cellulose, nach der chemischen Formel $C_6 H_{10} O_5$ zusammengesetzt; aus einer gewissen

Menge anorganischer Körper, welche beim Verbrennen als Asche zurückbleiben, und aus Wasser.

Der Aschengehalt beträgt durchschnittlich 1 v. H., zeigt übrigens auch an dem Holze von einem und demselben Baume Abweichungen und ist am stärksten in den Wurzeln und Blättern. Die Asche enthält vorzugsweise kohlensaures Calcium (50—70 v. H.), daneben kohlensaure Alkalien (bis 25 v. H.), Kieselsäure (deren Gehalt zwischen 2—13 v. H. zu schwanken pflegt), sowie kleinere Mengen von schwefelsauren und phosphorsauren Salzen. Der Phosphorgehalt pflegt höchstens 2 v. H. zu betragen.

Der Wassergehalt des Holzes ist nicht nur bei verschiedenen Holzarten verschieden, sondern lässt sich auch durch längeres Lagern des gefällten Holzes an der Luft verringern. Frisch gefälltes älteres Holz enthält in der Regel 30—45 v. H. seines Eigengewichts Wasser, abweichend nach der Holzart;[1]) bei jüngeren Bäumen steigt mitunter der Wassergehalt bis auf 60 v. H.

Beim längeren (mindestens zweijährigen) Lagern des gespaltenen Holzes an einem trockenen, aber luftigen Orte vermindert sich allmählich der Wassergehalt bis auf etwa 20, bei einzelnen Holzsorten 17 v. H.; man nennt solches Holz lufttrocken. Eine weitere Austrocknung ist nur durch Erwärmung auf eine Temperatur zwischen 125—150° C. möglich. Die Zusammensetzung dieses vollständig trockenen, demnach nur noch aus Cellulose, Asche und den stickstoffhaltigen Resten des Saftes bestehenden Holzes ist durchschnittlich:

	des aschenhaltigen Holzes	der aschenfreien Holzmasse
Kohlenstoff	49,7 Theile	50,5 Theile
Wasserstoff	6,0 „	6,2 „
Sauerstoff	41,4 „	42,3 „
Stickstoff	1,0 „	1,0 „
Asche	1,9 „	0,0 „
Zusammen	100,0	100,0

und zeigt überhaupt bei den verschiedenen Holzsorten keine grossen Unterschiede.

Die Zusammensetzung des lufttrockenen Holzes lässt sich hieraus unschwer berechnen, wenn man einen Wassergehalt von durchschnittlich 20 v. H. hinzurechnet.

Erhitzt man das Holz stärker als auf 150° C., so tritt Zersetzung ein. Beim Erhitzen unter Luftabschluss bis zum beginnenden Glühen hinterbleibt ein Entgasungsrückstand (Holzkohle), dessen Gewicht durchschnittlich 25 v. H. des Gewichts des lufttrockenen Holzes beträgt.

Das Holz von den Laubholzbäumen, insbesondere von der Buche, Eiche, Ulme, Birke, pflegt man hartes, dasjenige von den Nadelholzbäumen, sowie auch von der Linde, Weide, Pappel weiches Holz zu nennen.

Das Gewicht eines Raummeters lufttrockenen Holzes (einschl. der Zwischenräume zwischen den einzelnen Stücken) beträgt:

1) Nadelhölzer sind durchschnittlich wasserreicher als Laubhölzer; unter letzteren besitzt vornehmlich frisches Buchenholz einen ziemlich hohen Wassergehalt (40 v. H.).

bei hartem Holze 350—450 kg
„ weichem „ 250—300 „

und schwankt nach der Form und Grösse der Holzstücke, wie nach dem noch vorhandenen Wassergehalte.

Die Wärmeleistung der gleichen Gewichtsmenge Holz muss um so grösser ausfallen, je geringer der Wassergehalt ist. Als Durchschnittswerthe kann man annehmen:[1])

für vollständig trockenes Holz (ohne jeden Wassergehalt) 3800 W.-E.
„ lufttrockenes Holz mit 20 Hunderttheilen Wasser 2900 W.-E.

Darren des Holzes. Der selbst im lufttrockenen Holze noch ziemlich reichliche Wassergehalt verringert nicht allein beträchtlich die Wärmeleistung des Holzes, sondern auch die bei der Verbrennung erreichbare Temperatur (Seite 57). Für Arbeiten, zu deren Durchführung eine hohe Temperatur nothwendig ist, lässt sich das Holz demnach nur verwenden, wenn man ihm durch eine künstliche Trocknung bei einer Temperatur von etwas über 100° C. die grössere Menge des ihm im lufttrockenen Zustande noch gebliebenen Wassers entzieht. Allerdings werden die Kosten des Brennmateriales hierdurch nicht unerheblich gesteigert.

Man benutzt zum Darren gemauerte Kammern, welche in irgend einer Weise auf die erforderliche Temperatur erhitzt werden und in welchen das Holz, am zweckmässigsten auf leichten eisernen Wagen aufgeschichtet, bis zur beendigten Trocknung belassen wird. Für genügenden Luftwechsel zur Ableitung der sich bildenden Wasserdämpfe muss gesorgt werden. Mitunter dient erhitzter Gebläsewind zum Trocknen, welcher durch Röhren in die Kammern geführt wird; in anderen Fällen bringt man an einer passenden Stelle der Kammer eine Rostfeuerung an und führt die Verbrennungsgase durch die Kammer selbst hindurch; oder man legt eine Anzahl eiserner Röhren in die Kammer, durch welche die Verbrennungsgase hindurchziehen, solcherart mittelbar die Kammer erwärmend.

Beachtenswerth ist der Umstand, dass gedarrtes Holz rasch Wasser aufnimmt und dadurch allmählich wieder in den Zustand des lufttrockenen Holzes übergeht, wenn es in gewöhnlicher Temperatur der Einwirkung der Luft preisgegeben wird. Soll daher der Zweck des Darrens erreicht werden, so muss die Verwendung bald, nachdem das Holz die Darrkammer verlassen hat, stattfinden.[2])

Infolge der Ausdehnung der Verkehrsmittel hat das Holz als Brennstoff für den Eisenhüttenbetrieb in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts an Bedeutung verloren, und es wird durch mineralische Brennstoffe häufig selbst in solchen Gegenden ersetzt, wohin diese aus entlegeneren Gegenden geschafft werden müssen.

b) Der Torf.

Der Torf ist das noch jetzt sich bildende Erzeugniss der Zersetzung gewisser Gattungen von Pflanzen unter dem Einflusse von Luft und

1) Th. Erhard, Tabellen zur Feuerungskunde. Freiberg 1878.
2) Abbildung einer solchen Darrkammer: „Stahl und Eisen“ 1894, S. 705.

Wasser, wobei aus der Pflanzenmasse Sauerstoff austritt und der Kohlenstoffgehalt sich anreichert, zugleich aber eine reichliche Wassermenge aufgenommen wird, während die Vermengung mit schlammigen Massen die Ursache eines häufig bedeutenden Aschengehaltes ist.

Vorzugsweise findet sich Torf in der gemässigten Zone, und zwar theils in Thälern, theils auf Hochebenen. Reich an Torf ist Deutschland, sowohl Nord- und Süddeutschland, wo er in manchen Gegenden auch für gewisse Zwecke des Eisenhüttenbetriebes Verwendung findet; auch Frankreich, Grossbritannien, Russland, Skandinavien besitzen ausgedehnte Torflager.

Die Gewinnung des Torfes geschieht durch Hand- oder Maschinenarbeit. Bei der ersteren wird der Torf, sofern er die genügende Festigkeit besitzt (unter Umständen nach vorausgegangener Entwässerung des Torfmoores), mit entsprechend geformten Spaten in prismatischen Stücken ausgestochen, um im Freien oder in luftigen Schuppen getrocknet zu werden (Stechtorf); gestattet aber die Eigenthümlichkeit der Torfmasse nicht eine Gewinnung in dieser Weise (wegen breiiger, ungleichmässiger Beschaffenheit), so gräbt man sie aus, mischt sie in einer Grube durch Treten mit den Füssen oder Schlagen mit Werkzeugen durcheinander und streicht nun entweder diesen Torfbrei in Formen, um die solcherart gewonnenen prismatischen Stücke (Torfziegel) zu trocknen (Streichtorf, Modeltorf), oder man breitet eine grössere Menge davon auf dem geschlichteten Torffelde aus, überlässt ihn hier einige Zeit der Trocknung, dichtet ihn hierauf durch Treten oder Schlagen und schneidet ihn mit langen Messern in einzelne Stücke, welche nunmehr, um vollends lufttrocken zu werden, in Haufen zusammengestellt werden (Backtorf, Breitorf). Die Gewinnungskosten des Streich- und Backtorfes sind um 15—20 Hunderttheile höher als die des Stechtorfes, wogegen jene Sorten sich durch grössere Dichtigkeit und Festigkeit vor diesem auszeichnen.

Die zur Gewinnung des Torfes benutzten Maschinen sind ziemlich mannigfacher Art. Während die älteren sich darauf beschränken, den Torf zu stechen und herauszuheben, sind die neueren mit Einrichtungen versehen, um die Fasern des herausgehobenen Torfes mit Messern zu zerschneiden, die Masse — ähnlich wie es bei der Back- und Streichtorfanfertigung durch Handarbeit geschieht — innig durcheinander zu mischen, in einzelnen Fällen auch wohl zu schlämmen, wenn anorganische Beimengungen entfernt werden sollen, und dann entweder unter mässigem Drucke in Stücke zu formen (Presstorf) oder nach vorausgegangener Beimengung von Wasser auf einem Trockenfelde gleichmässig auszubreiten, so dass dann später, wie bei der Handarbeit, die einzelnen Stücke daraus geschnitten werden (Maschinenbacktorf). Hinsichtlich der Einrichtung dieser verschiedenen Maschinen muss auf die unten gegebene Litteratur verwiesen werden.

Vor dem Handtorfe zeichnet sich der mit Maschinen gewonnene Torf (auch Kunsttorf genannt) durch grössere Gleichmässigkeit und Festigkeit aus, welche letztere die Beförderung auf grössere Entfernungen ohne Gefahr für starke Verluste ermöglicht; vor dem gewöhnlichen Streichtorfe besitzt der Presstorf den Vorzug einer grösseren Dichtigkeit (wodurch nicht nur ebenfalls die Beförderung erleichtert, sondern auch

die Verbrennung der gleichen Menge Torf auf einen kleineren Raum beschränkt wird) und einer verringerten Fähigkeit, Feuchtigkeit aufzunehmen.

Die Zusammensetzung der reinen Torfmasse (ohne Wasser und Asche) ist nach dem verschiedenen Alter des Torfes verschieden, beträgt jedoch im Mittel:

Kohlenstoff	60 Theile,
Wasserstoff	6 „
Sauerstoff und Stickstoff	34 „

Ein Umstand, welcher sich der Verwendung des Torfes in solchen Fällen, wo es sich um Hervorbringung hoher Temperaturen handelt, hemmend entgegenstellt, ist sein beträchtlicher Wassergehalt und sein oft sehr ansehnlicher Aschengehalt. Der Wassergehalt des frischen (nicht getrockneten) Torfes pflegt mindestens 80 v. H. zu betragen; an der Luft gut getrockneter Torf enthält gewöhnlich noch 25 v. H. Wasser; durch Trocknen bei 100° C. lässt sich allerdings auch dieses Wasser bis auf kleine Mengen austreiben, der gedarrte Torf aber nimmt, sobald er der Luft ausgesetzt ist, rasch wieder die vorige Menge Wasser auf, welche Eigenschaft er mit dem gedarrten Holze theilt. Bei Erhitzung über 120° C. beginnt bereits die Zersetzung.

Der Aschengehalt des Torfes beträgt in einzelnen seltenen Fällen nur 0,5 v. H., und man nennt diejenigen Torfe, deren Aschengehalt unter 5 v. H. bleibt, aschenarme; häufiger sind diejenigen mit 5 bis 10 v. H. Asche (mittlerer Aschengehalt), und nicht selten kommt ein Aschengehalt bis 20 v. H. und darüber vor (aschenreiche Torfe). Steigt jedoch der Gehalt über 25 v. H., so ist der Torf als Brennstoff ziemlich werthlos.

Die Asche besteht gewöhnlich zum grössten Theile aus Kieselsäure, Eisenoxyd, Thonerde und Kalk mit kleineren Mengen Alkalien, Magnesia, Phosphorsäure. Der Phosphorsäuregehalt geht selten über 2 v. H. des Aschengewichtes hinaus und beträgt häufig erheblich weniger.

Der Entgasungsrückstand beim Erhitzen lufttrockenen Torfs beträgt durchschnittlich 35 v. H. des Gewichts der Torfmasse (ohne Asche).

Die Wärmeleistung der reinen Torfmasse lässt sich ungefähr zu 5300 W.-E. annehmen, während gewöhnlicher lufttrockener Torf mit mittlerem Aschengehalte höchstens 3500 W.-E. zu liefern im Stande ist. Nach Versuchen von Brix verdampft 1 kg Torf mit 8—10 v. H. Asche und 25 v. H. Wasser bei der Heizung eines Dampfkessels etwa 1,2 mal so viel Wasser als Holz; nimmt man also die Wärmeleistung dieses letzteren zu 2900 W.-E. an, so würde die Wärmeleistung des Torfes etwa 3500 W.-E. betragen.

Um den Torf auch für solche Zwecke verwendbar zu machen, wo eine höhere Verbrennungstemperatur erforderlich ist, unterwirft man ihn zur Austreibung seines Wassergehaltes einem Trocknungsverfahren (Darren) bei etwa 100° C. in ähnlichen Darrkammern, wie für das Trocknen des Holzes. Einige nähere Angaben hierüber findet der Leser in den unter „Litteratur“ aufgeführten Werken von Hausding und Birnbaum.

Dass der gedarrte Torf rasch, d. h. noch warm, verbraucht werden muss, wenn er nicht wieder Wasser anziehen soll, dass also die Darrvorrichtungen auch unmittelbar neben dem Verwendungsorte sich befinden müssen, wurde schon erwähnt.

c) Die Braunkohle.

Aus den Pflanzenresten der Tertiärzeit bestehend bildet die Braunkohle den jüngsten der eigentlichen mineralischen Brennstoffe. Sie zerfällt ihrem Aeusseren wie ihrer chemischen Zusammensetzung nach in verschiedene Unterabtheilungen.

Lignit oder fossiles Holz.

Diese Braunkohlenart zeigt noch deutlich das Gefüge des Holzes, aus dem sie entstanden ist; es waren Baumstämme, durch die eingetretene Zersetzung gebräunt und durch die auf ihnen lastenden Schichten theilweise zerdrückt.

Die chemische Zusammensetzung der eigentlichen Braunkohlenmasse der Lignite schwankt innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	57—67,	durchschnittlich	61,5 Theile,
Wasserstoff	6— 5,	„	5,5 „
Sauerstoff und Stickstoff .	37—28,	„	33,0 „

Die kohlenstoffärmsten, wasserstoff- und sauerstoffreichsten Lignite sind die am wenigsten zersetzten.

Ein grosser Uebelstand dieser Braunkohlenart ist ihr beträchtlicher Wassergehalt, welcher bei der frisch geförderten Kohle kaum unter 30 v. H., mitunter bis zu 50 v. H. beträgt und den Brennwerth abmindert. Nun lässt sich allerdings ein grosser Theil dieses Wassergehaltes durch Lagern der Kohle an der Luft entfernen; hierbei aber entsteht ein anderer Nachtheil: die Kohle zerfällt beim Trocknen zu Pulver und eignet sich in dieser Form für manche Zwecke weniger gut als in grösseren Stücken.

Als Entgasungsrückstand hinterbleiben beim Erhitzen im Mittel 40 v. H. des Gewichts der reinen Kohlenmasse.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt durchschnittlich 5500 W.-E., während die wirklichen Kohlen wegen ihres Wasser- und Aschengehaltes kaum mehr als 3400 W.-E. zu liefern pflegen.

Der Aschengehalt ist in allen Fällen bedeutender als der des frischen Holzes und pflegt mindestens 4 v. H. zu betragen, steigt aber in einzelnen Fällen bis zu 15 v. H. und darüber.

1 cbm Lignite wiegt 550—750 kg, je nachdem der Wasser- und Aschengehalt kleiner oder grösser ist.

Erdige Braunkohle, Moorkohle.

Weiche, zerreibliche Masse, aus der Zersetzung niedriger Pflanzen (wie der Torf) hervorgegangen. Wie die Lignite ist diese Kohle reich an Wasser, mitunter auch reich an Asche und sie steht in ihrem chemischen Verhalten jenen nahe. Wegen ihres dichten, erdigen Zu-

standes besitzt sie für Zwecke des Eisenhüttenbetriebes nur geringe Bedeutung.

Aeltere Braunkohle.

Im Aeusseren unterscheidet sich diese von den vorstehend besprochenen Sorten durch ihre grössere Festigkeit und Härte, ihren muscheligen Bruch, ihre grössere Beständigkeit an der Luft. In chemischer Beziehung zeichnet sie sich durch einen grösseren Kohlenstoffgehalt und geringeren Wassergehalt aus, und ihr Brennwerth ist demnach entsprechend höher. Ihre Farbe ist braun bis schwarz, der Strich braun. Eine seltener vorkommende Abart dieser Braunkohlen, ausgezeichnet durch besonders hohen Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt bei geringem Sauerstoffgehalte, durch leichte Entzündbarkeit und lange rauchende Flamme, wird bituminöse Braunkohle, fette Braunkohle, Schweelkohle genannt.

Die reine Kohlenmasse dieser Braunkohlenarten enthält:

Kohlenstoff	65—75,	durchschnittlich	69,5	Theile,
Wasserstoff	6— 4,	„	5,5	„
Sauerstoff und Stickstoff .	29—21,	„	25,0	„

Der Wassergehalt geht selten über 10 v. H. hinaus.

Der Aschengehalt pflegt mindestens 3 v. H. zu betragen, steigt aber bei einzelnen Arten bis auf das Zehnfache dieser Menge. Häufige Beimengungen sind Schwefel und Schwefelkies; Phosphate dagegen finden sich auch in der Asche selten in erheblichen Mengen.

Als Entgasungsrückstand beim Erhitzen hinterbleiben durchschnittlich 45 v. H. des Gewichts der reinen und trockenen Braunkohle.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt — abweichend nach der chemischen Zusammensetzung — 7000 bis 8000 W.-E.; diejenige der wirklichen Kohlen (wasser- und aschenhaltig) im Mittel 5500 W.-E.

1 cbm ältere Braunkohlen in mittelgrossen Stücken wiegt durchschnittlich 700 kg.

Auf zahlreichen Eisenwerken bildet diese Gattung der Braunkohlen ein geschätztes Brennmaterial für verschiedene Zwecke.

d) Die Steinkohle und der Anthracit.

Diese nicht allein für die Metallgewinnung, sondern für die gesammte Gewerbthätigkeit wichtigsten Brennstoffe treten in den oberen primären und unteren secundären Erdformationen, vorwiegend aber in der nach ihnen benannten Steinkohlenformation in Flötzen auf, die sich zum Theil über weite Strecken ausdehnen und nicht selten mehr als 15 m Mächtigkeit erreichen.

Von den ihnen an Alter nachstehenden Braunkohlen unterscheiden sie sich äusserlich durch ihre schwarze Farbe (nur wenige Braunkohlenarten besitzen ebenfalls eine so dunkle Farbe), schwarzes Strichpulver, grösseres specifisches Gewicht, beim Erhitzen durch einen grösseren Entgasungsrückstand. Das Gefüge des Holzes, aus dem auch die Steinkohlen ursprünglich entstanden, ist nicht mehr erkennbar.

Unter sich aber zerfallen die Steinkohlen wieder in eine Reihe verschiedener Arten, welche in physikalischer und in chemischer Hinsicht erhebliche Unterschiede aufweisen. Im Allgemeinen ist durch die chemische Zusammensetzung einer Steinkohle auch ihr Verhalten bei der Erhitzung in der Weise gekennzeichnet, wie es unten geschildert ist; Ausnahmen kommen jedoch vor. Auch der Entgasungsrückstand ist bei zwei Steinkohlenarten von gleicher chemischer Zusammensetzung nicht immer gleich, ein Beweis, dass die molekulare Anordnung der Bestandtheile verschieden sein kann.

Eine eigenthümliche und für viele Verwendungen wichtige Eigenschaft zeigen einzelne Steinkohlenarten; sie nehmen beim Erhitzen eine klebrige, teigartige Beschaffenheit an, sie backen. Sowohl denjenigen Arten, welche den Braunkohlen nahe stehen, als auch den anthracitartigen fehlt diese Eigenschaft, welche für die Verwendbarkeit zu gewissen Zwecken, ganz besonders für die Verkokung der betreffenden Kohlen von Bedeutung ist. Gut backende Kohlen pflegt man Fettkohlen zu nennen, nicht backende magere oder trockene Kohlen.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Steinkohlen ist geringer als der aller übrigen natürlichen Brennstoffe und geht selten über 5 v. H. hinaus.

Der Aschengehalt beträgt bei den besseren Kohlen 0,5—7 v. H. (selten weniger als 4 v. H.), bei mittleren 7—14 v. H., bei aschenreicheren noch mehr. Die Asche besteht aus Kieselsäure in Mengen von durchschnittlich 50 v. H., Eisenoxyd und Thonerde mitunter bis 45 v. H., kleineren Mengen Kalkerde, Phosphorsäure (bis zu 3 v. H.) und Schwefelsäure, zum Theile aus der Zersetzung von Schwefelmetallen bei der Verbrennung hervorgegangen und an Kalk gebunden. Der Gehalt an Alkalien beträgt selten über 3 v. H., in der Regel weniger. Hinderlich für die Verwendung mancher Steinkohlen ist ihr beträchtlicher Schwefelgehalt, theils von eingelagerten Schwefelmetallen (Schwefelkies, Kupferkies, Zinkblende, Bleiglanz u. a.) herrührend, theils einen Bestandtheil der Kohlenmasse selbst bildend.[1]) Der Schwefelgehalt beträgt mitunter 3 v. H., nicht selten 2 v. H. des Steinkohlengewichtes. Bei der Erhitzung der Kohlen zum Zwecke der Verkokung geht der Schwefel zum Theil mit den Gasen davon, ein anderer Theil hinterbleibt im Entgasungsrückstande.

Für die Eintheilung der Steinkohlen sind im Laufe der Jahre verschiedene Vorschläge gemacht worden. In Folgendem ist eine von Gruner aufgestellte Eintheilung benutzt, welche unter allen die übersichtlichste sein dürfte. Dass Fälle auftreten können, wo die physikalischen Eigenschaften der Kohle nicht so, wie es nach Gruner's Eintheilung der Fall sein müsste, mit der chemischen Zusammensetzung übereinstimmen, wurde schon erwähnt.

Langflammige Sandkohlen; trockene Kohlen.

Sie verbrennen mit langer, auf einen grossen Gehalt an flüchtigen brennbaren Körpern deutenden Flamme, hinterlassen bei der Entgasung

1) Den Schwefel in letzterer Form hat man als organischen Schwefel bezeichnet. Vergleiche die unter Litteratur genannte Abhandlung von Dr. Muck über den Schwefelgehalt der Steinkohlen.

einen verhältnissmässig geringen Rückstand, welcher die äussere Form der Kohle beibehält, ohne zu backen. Grössere Stücke zerspringen bisweilen oder werden rissig, kleinstückige Kohle bleibt unverändert.

Ihre chemische Zusammensetzung bewegt sich gewöhnlich innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	75 — 80,	durchschnittlich	77,5	Theile
Wasserstoff	5,5 — 4,5,	„	5,5	„
Sauerstoff und Stickstoff	19,5 — 15,5,	„	17,0	„

Der Entgasungsrückstand beträgt 50—60 v. H. des Gewichts der reinen Kohlenmasse, die Menge der flüchtigen Erzeugnisse 50 bis 40 v. H.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt 8000 bis 8500 W.-E.

1 cbm dieser Kohlen wiegt durchschnittlich 700 kg.

In Deutschland finden sich diese Kohlen oder Uebergänge zu der nächsten Gattung in den oberen Schichten der Kohlenbecken Oberschlesiens, in geringeren Mengen bei Saarbrücken; Grossbritannien besitzt wichtige Vorkommnisse in Schottland, wo sie im unverkohlten Zustande beim Eisenhochofenbetriebe Verwendung finden, ferner in Derbyshire, Staffordshire u. a. O.

Eine vorzugsweise in sächsischen Steinkohlenflötzen auftretende Abart dieser Kohlengattung ist die Russkohle, durch ihre tiefschwarze Farbe, ihre Zerreiblichkeit, faserige Beschaffenheit und ihren geringen Gehalt an Wasserstoff gekennzeichnet, welcher oft weniger als 3 v. H. beträgt, während der Kohlenstoffgehalt entsprechend höher ist (76 bis 82 v. H.).

Langflammige Backkohlen; Gaskohlen.

Sie brennen wie die vorigen Kohlen mit langer und rauchender Flamme; beim Erhitzen aber verändern die Stücke ihre Form, sie erweichen, backen aneinander, und eine grössere Zahl kleinerer Stücke vereinigt sich zu einem Ganzen. Uebergänge zwischen dieser und der vorhergehenden Kohlengattung, welche zwar nicht völlig erweichen und ihre ursprüngliche Form beibehalten, aber doch Neigung zeigen, zusammen zu fritten, heissen Sinterkohlen.

Die chemische Zusammensetzung dieser Kohlen beträgt:

Kohlenstoff.	80 — 85,	durchschnittlich	82,0	Theile
Wasserstoff.	5,8 — 5,	„	5,5	„
Sauerstoff und Stickstoff .	14,2 — 10,	„	12,5	„

der Entgasungsrückstand 60—68 v. H. der reinen Kohlenmasse, die Menge der entweichenden flüchtigen Körper 40—32 v. H. Die erfolgende Gasmenge ist geringer als bei den langflammigen Sandkohlen, aber die Leuchtkraft des erfolgenden Gases ist bedeutender, und diese Kohlen bilden deshalb das vornehmste Material zur Leuchtgaserzeugung, wobei die Kohle durch Erhitzen in Retorten zersetzt und das entweichende Gas, nachdem es verschiedene Reinigungsvorrichtungen zum Zurückhalten des Theers, Wassers, der Kohlensäure wie der Schwefelverbindungen durchströmt hat, im Gasbehälter aufgesammelt wird, während ein poriger Koks in den Retorten zurückbleibt.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt nach Scheurer-Kestner und Meunier 8500—8800 W.-E.

1 cbm grossstückiger langflammiger Backkohlen wiegt 700 bis 750 kg.

Diese Kohlengattung kommt innerhalb Deutschlands vorzugsweise in Oberschlesien, in Westfalen und bei Saarbrücken vor; sie ist ferner in Frankreich ziemlich häufig (Kohlenbecken von Pas-de-Calais und Loire), wird in Belgien im Becken von Mons gewonnen, in Grossbritannien bei Newcastle und in Schottland.

Gewöhnliche Backkohlen; Schmiedekohlen.

Sie sind etwas schwieriger entzündlich, als die beiden vorstehend besprochenen Arten, und brennen mit nicht ganz so langer, aber weniger rauchender Flamme. Beim Erhitzen verhalten sie sich den langflammigen Backkohlen ähnlich, nur tritt bei ihnen die Eigentümlichkeit aller Backkohlen in noch stärkerem Maasse zu Tage: sie schmelzen wie Harz und blähen sich dabei infolge der Gasentwickelung stark auf. Diese starke Backfähigkeit macht diese Kohlen — welche übrigens zur Gaserzeugung, zur Koksdarstellung und zu mannigfachen anderen Zwecken ebenfalls Verwendung finden — gut geeignet für den Betrieb von Schmiedefeuern, wobei kleinstückige Kohlen dieser Art (unter der Benennung Schmiedekohlen in den Handel gebracht) oberhalb des zu erhitzenden Eisenstückes aufgeschüttet werden, hier alsbald zusammenbacken und solcherart eine zusammenhängende Decke bilden. Von Zeit zu Zeit stösst der Schmied die Decke ein, schüttet von oben her frische Kohlen nach und bewirkt auf diese Weise, dass nur glühende und bereits entschwefelte Kohlen mit dem Eisen in unmittelbare Berührung treten.

Die Zusammensetzung dieser Kohlen bewegt sich gewöhnlich innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	84—89,	durchschnittlich	86,5 Theile
Wasserstoff	5— 5,5,	„	5,0 „
Sauerstoff und Stickstoff .	11— 5,5,	„	8,5 „

Der Entgasungsrückstand beträgt 68—74 v. H., während 32 bis 26 v. H. flüchtige Körper entweichen.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt nach Scheurer-Kestner und Meunier 8800—9300 W.-E.

1 cbm Kohlen wiegt 750—800 kg.

Die in Rede stehenden Backkohlen bilden wichtige Vorkommnisse am Niederrhein und in Westfalen (z. B. bei Essen und Bochum), in Belgien, Frankreich, England.

Kurzflammige Backkohlen; Kokskohlen.

Zerreiblich, schwerer verbrennlich als die vorausgehend besprochenen; mit kurzer, leuchtender, wenig rauchender Flamme verbrennend. Bei starker Erhitzung blähen sich diese Kohlen zwar noch auf und backen zusammen, aber ihre Backfähigkeit ist geringer, als die der eigentlichen Backkohlen. Sie bedürfen dazu einer höheren Temperatur, und da bei ihrer Zersetzung weniger Gase entweichen, hinterlassen sie

einen dichteren Rückstand. Je mehr sie sich in ihrer Beschaffenheit der folgenden Gattung nähern, desto weniger leicht backen sie, desto stärkere Erhitzung ist dazu nothwendig. Auch wenn sie längere Zeit hindurch an der Luft lagern, nimmt ihre Backfähigkeit ab; es findet hierbei eine theilweise Zersetzung statt, welche eine Verflüchtigung derjenigen Bestandtheile bewirkt, auf denen die Backfähigkeit beruht.

Die chemische Zusammensetzung beträgt:

Kohlenstoff	88 — 91,	durchschnittlich	89,5 Theile
Wasserstoff	5,5 — 3,5,	„	4,5 „
Sauerstoff und Stickstoff .	6,5 — 4,5,	„	6,0 „

der Entgasungsrückstand 74—82 v. H., die Menge der verflüchtigten Bestandtheile 26—18 v. H.

Die kohlenstoffreichsten dieser Steinkohlen bilden Uebergänge zu der nächsten Gattung und backen nur schwierig.

Unter allen Kohlenarten besitzen die kurzflammigen Backkohlen die grösste Wärmeleistung, nämlich 9300—9600 W.-E.

Die hauptsächlichsten Gewinnungsbezirke dieser Kohlen sind in Deutschland Westfalen und der Niederrhein, in Frankreich die Gegend bei Creusot, St. Etienne, Gard, in Belgien bei Charleroy, in Grossbritannien Südwales, besonders die Gegend bei Cardiff.

Anthracitische oder magere Kohlen und Anthracite.

Diese Kohlen besitzen gewöhnlich geringe Festigkeit, sind schwer entzündlich, verbrennen mit kurzer, fast rauchloser Flamme, welche bald erlischt, und zerspringen im Feuer leicht in Stücke, wodurch ihre Verwendung erschwert wird.

Beim Erhitzen hinterbleibt ein wenig zusammenhängender, mitunter pulverförmiger Rückstand; sie backen so wenig wie die zuerst besprochenen langflammigen Sandkohlen.

Die Zusammensetzung ist ungefähr folgende:

Kohlenstoff	90 — 95,	durchschnittlich	92,0 Theile
Wasserstoff	4,5 — 2,	„	3,0 „
Sauerstoff und Stickstoff .	5,5 — 3,	„	5,0 „

Entgasungsrückstand 82—92 Hunderttheile, verflüchtigte Bestandtheile 18—8 Hunderttheile.

Die Wärmeleistung schwankt zwischen 9200—9500 W.-E.

Diese Kohlen gehören in Europa zu den weniger häufigen Vorkommnissen. In Deutschland finden sie sich bei Aachen und an einigen Stellen Westfalens, in Frankreich am nördlichen Rande des Beckens von Valenciennes und einigen anderen Orten, in Belgien bei Charleroy, in England bei Merthyr Tydwill. Man benutzt sie hier zum Theile zum Betriebe von Eisenhochöfen, mehr noch zur Dampfkessel- und Hausfeuerung, wozu sie wegen ihrer fast rauchfreien Verbrennung sich gut eignen. Wichtiger sind die Vorkommnisse Nordamerikas (Pennsylvaniens), wo diese Kohlen einen Flächenraum von ungefähr 120000 ha bedecken und in reichen Mengen gewonnen werden. Der ziemlich geringe Aschengehalt und unbedeutende Feuchtigkeitsgehalt der dortigen

Anthracite[1]) stellt sie hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung den besseren Kokssorten zur Seite und macht sie geeignet, nöthigenfalls an Stelle der letzteren als Brennstoff beim Hochofenbetriebe benutzt zu werden; allerdings besitzen sie den Koks gegenüber den grossen Nachtheil, beim Erhitzen in Stücke zu zerspringen und schwerer verbrennlich zu sein, wodurch ihre Verwendung für den genannten Zweck wie für andere Verfahren erschwert wird.

e) Rückblicke auf die Arten der festen rohen Brennstoffe.

Um den Vergleich des Verhaltens der verschiedenen rohen Brennstoffe zu erleichtern, sind ihre wichtigsten Eigenschaften in nachfolgender Zusammenstellung nochmals aufgeführt.

	Chemische Zusammensetzung der reinen Brennstoffmasse				der reinen Brennstoffmasse				Gewöhnlicher Feuchtigkeitsgehalt im lufttrockenen Zustande	Gewöhnlicher Aschengehalt
	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Entgasungsrückstand	Flüchtige Entgasungserzeugnisse	Nutzbarer Wasserstoff	Wärmeleistung		
	%	%	%	%	%	%	%	W.-E.	%	%
Holz	50,5	6,2	42,3	1,0	25,0	75,0	0,91	3600	20	2
Torf	60,0	6,0	32,0	2,0	35,0	65,0	2,00	5300	25—30	5—20
Jüngere Braunkohle, Lignit	61,5	5,5	33,0		40,0	60,0	1,37	5500	25—40	5—15
Aeltere Braunkohle .	69,5	5,5	25,0		45,0	55,0	2,37	7500	5—10	3—15
Steinkohlen:										
a) Langflammige, nicht backende Kohle	77,5	5,5	17,0		55,0	45,0	3,38	8200		
b) Langflammige Backkohlen (Gaskohlen)	82,0	5,5	12,5		65,0	35,0	3,94	8600		
c) Gewöhnliche Backkohlen (Schmiedekohlen	86,5	5,0	8,5		70,0	30,0	3,94	9000	2—4	2—15
d) Kurzflammige Backkohlen (Kokskohlen)	89,5	4,5	6,0		78,0	22,0	3,75	9400		
e) Magere (anthracitische) Kohlen . .	92,0	3,0	5,0		85,0	15,0	2,37	9200		
Anthracite	94,0	2,0	4,0		92,0	8,0	1,50	9200		

Die Brennstoffe bilden demnach eine Reihe, in welcher der Sauerstoffgehalt von dem ersten Gliede, dem Holze, an bis zu dem letzten Gliede, den Anthraciten, stetig abnimmt, während der Kohlenstoffgehalt in gleichem Maasse wächst. Mit dem letzteren steigt der beim Erhitzen hinterbleibende Entgasungsrückstand, während die Menge der entweichenden flüchtigen Körper sich verringert. Auch die Zusammensetzung der letzteren ist indess verschieden. Von dem gesammten Wasserstoff-

1) Nach Wedding (Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten, Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate Bd. 24) enthalten die Anthracite Pennsylvaniens durchschnittlich:

Kohle	Flüchtige Bestandth.	Asche	Schwefel	Phosphor	Feuchtigkeit
82,50	5,50	10,50	0,35	0,012	1,15

Die besten dagegen nur 5,8 Hunderttheile Asche bei 89,0 Hunderttheilen Kohlenstoff.

gehalte des Brennstoffs geht mit dem vorhandenen Sauerstoffe eine entsprechende Menge als Wasserdampf in die flüchtigen Entgasungserzeugnisse ein, deren brennbare Bestandtheile verdünnend und die Verbrennungstemperatur erniedrigend. Nur der Rest des Wasserstoffs, welcher theils als freier Wasserstoff, theils in Vereinigung mit Kohle als Kohlenwasserstoff bei der Zersetzung des Brennstoffs entweicht, bleibt für die Wärmeentwickelung bei Verbrennung der flüchtigen Entgasungserzeugnisse verfügbar. Annähernd lässt sich die Menge dieses nutzbaren Wasserstoffs aus dem Sauerstoffgehalte des Brennstoffs berechnen, da sich zwei Gewichtstheile Wasserstoff mit 16 Gewichtstheilen Sauerstoff vereinigen; die Ergebnisse einer solchen Berechnung sind in der oben gegebenen Zusammenstellung enthalten.[1]) Am reichsten an nutzbarem Wasserstoff sind die langflammigen und gewöhnlichen Backkohlen; am ärmsten ist das Holz. Dass die Flamme bei Verbrennung der erstgenannten Brennstoffe (und auch der aus ihnen bei der Erhitzung entweichenden Gase) sich durch grössere Länge auszeichnet, findet eben in der Entwickelung einer grösseren Menge verhältnissmässig schwer verbrennbarer Kohlenwasserstoffe ausreichende Erklärung. Bei der Beurtheilung der Benutzbarkeit der Brennstoffe sowohl für die Heizung durch unmittelbare Verbrennung als für die Leuchtgas- und Brenngasbereitung ist die Menge jenes nutzbaren Wasserstoffs bedeutungsvoller als der Gesammtgehalt an Wasserstoff.

Die Wärmeleistung der reinen Brennstoffmasse nimmt vom Holze an bis zu den kurzflammigen Backkohlen zu und verringert sich wieder etwas bei den anthracitartigen Kohlen und Anthraciten.

2. Durch Verkohlung gewonnene Brennstoffe und ihre Darstellung.

a) Allgemeines.

Wenn man die in Vorstehendem besprochenen rohen Brennstoffe erhitzt, so beginnt bei einer Temperatur von ungefähr 150° die Zersetzung unter Entweichen flüchtiger Körper, bestehend aus Wasserdampf, Kohlenwasserstoffen von verschiedener Zusammensetzung, Kohlenoxyd, Ammoniak u. a. m. Der Verlauf der Zersetzung ist, wie erwähnt, zum Theile von der Temperatur abhängig; in jedem Falle aber hinterbleibt, wenn die Erhitzung unter Luftabschluss bis zum starken Glühen fortgesetzt wird, neben den Aschenbestandtheilen fast reine Kohle.[2])

Da die entweichenden Gase eine reichliche Menge brennbarer Körper enthalten, bedeutet jene Zersetzung unleugbar einen Verlust an Brennstoff, wenn man die Gase, wie es nicht selten geschieht, abziehen lässt, ohne ihre Brennkraft auszunutzen.

1) Ganz genau ist die Rechnung nicht, weil ein Theil des Sauerstoffgehalts auch Kohlenoxyd zu bilden pflegt, während ein Theil des anwesenden Wasserstoffs zur Ammoniakbildung verbraucht wird. Ausserdem ist der Verlauf der Zersetzung in jedem einzelnen Falle von der herrschenden Temperatur und von der molekularen Anordnung der Bestandtheile im Brennstoffe abhängig. Zwei Steinkohlen von gleicher Zusammensetzung können — wie schon erwähnt wurde — ziemlich abweichend zusammengesetzte Entgasungserzeugnisse liefern.

2) Kleine Mengen Wasserstoff und Stickstoff pflegen auch in den stark geglühten Kohlen zurückzubleiben.

Dennoch bildet die Verkohlung ein wichtiges Verfahren zur Erlangung eines Brennstoffes, welcher ohne Flamme verbrennt und deshalb für zahlreiche Verfahren geeigneter ist als der rohe Brennstoff, aus welchem er dargestellt wurde. Denn jene Zersetzung der rohen Brennstoffe beim Erhitzen verursacht einen Wärmeverbrauch, welcher bisweilen störend für die Durchführung eines Verfahrens sein kann; liegt der Brennstoff in hoher Schicht aufeinander und wird durch Luft, welche von unten zugeführt wird, verbrannt (in Schachtöfen), so erschweren die im oberen Theile der Schicht aus der Zersetzung hervorgehenden Gase das Aufsteigen der unten gebildeten Verbrennungsgase; der rohe Brennstoff aber verändert bei der Zersetzung oft erheblich seine Form, wodurch ebenfalls seine Verwendung erschwert werden kann. Backende Steinkohlen z. B. würden für zahlreiche Verwendungen ganz ungeeignet sein, für welche die aus ihnen durch Verkohlung gewonnenen Koks gerade den geeignetsten Brennstoff bilden. Endlich kommt auch in Betracht, dass manche rohen Brennstoffe, zumal die sauerstoffreicheren, eine weniger hohe Verbrennungstemperatur entwickeln als die aus ihnen durch Entgasung gewonnenen Kohlen, und dass aus diesem Grunde letztere für manche Zwecke geeigneter sind als erstere.

Nicht alle besprochenen rohen Brennstoffe jedoch liefern bei der Erhitzung einen für Heizzwecke brauchbaren Rückstand. Wenn die verkohlten Brennstoffe ihren Zweck erfüllen sollen, ist es in Rücksicht auf die Eigenthümlichkeiten unserer Feuerungseinrichtungen nothwendig, dass sie eine gewisse, nicht allzu geringe Stückgrösse besitzen. Pulverförmige Brennstoffe sind nur in seltenen Fällen brauchbar, und für die meisten Verwendungen der verkohlten Brennstoffe steigt ihr Werth mit ihrer Stückgrösse.

Während daher Holz und Torf sich gut für die Verkohlung eignen, sind alle Braunkohlen von dieser Verarbeitungsweise ausgeschlossen, weil sie, wie erwähnt, beim Erhitzen in kleine Stücke zerfallen. Zahlreiche Versuche sind gemacht worden, ein für Verkohlung von Braunkohlen geeignetes Verfahren zu finden, ohne jedoch befriedigende Erfolge zu liefern.[1]) Unter den Steinkohlen verhalten sich die den Braunkohlen am nächsten stehenden, die langflammigen trockenen Kohlen, auch bei der Verkohlung diesen ähnlich; manche von ihnen ertragen jedoch, ohne zu zerfallen, eine mässige Verkohlung, d. h. eine Austreibung des grössten Theils ihrer flüchtigen Bestandtheile, sofern die Erhitzung nicht zu rasch von statten geht und nicht ein zu hohes Maass erreicht. Gut verkohlungsfähig sind alle backenden Steinkohlen; Anthracite und die ihnen nahe stehenden Steinkohlen dagegen sind, da auch sie beim Erhitzen zu zerfallen pflegen, gar nicht oder nur sehr schwierig verkohlungsfähig. Da indess ihr Gehalt an flüchtigen Körpern überhaupt nur gering ist, besitzt bei ihnen die Verkohlung an und für sich wenig Bedeutung.

b) Die Verkohlung des Holzes und die Holzkohle.

Für die Darstellung der Holzkohle im Grossen giebt es drei verschiedene Verfahren.

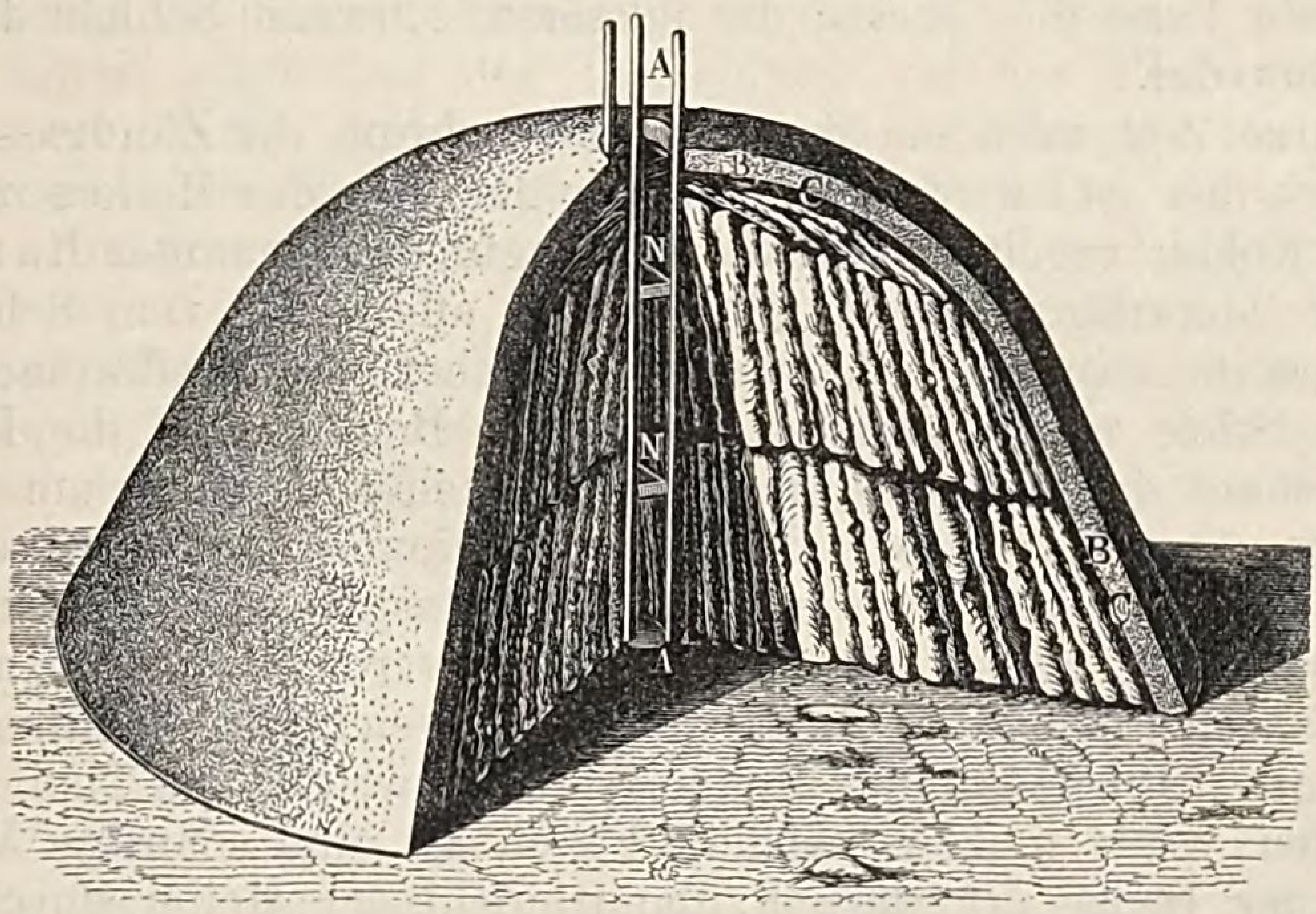
1) Näheres hierüber in der am Schlusse des Abschnitts gegebenen Litteratur.

Verkohlung in Meilern.

Dieses Verfahren ist das älteste und auch jetzt noch üblichste für Holzkohlendarstellung. Ein Meiler ist ein nach bestimmten Regeln aufgestellter Holzhaufen, welcher im Innern entzündet wird, ringsum aber durch eine Decke aus Rasen oder dergleichen eingehüllt ist, so dass die Verbrennung, deren Verlauf durch Luftlöcher in der Decke geregelt werden kann, immerhin beschränkt bleibt und nur so weit ausgedehnt wird, als für die zur Zersetzung des Holzes nothwendige Wärmeentwickelung nothwendig ist.

Fig. 4 stellt die üblichste Form eines für Holzkohlengewinnung bestimmten Meilers dar. Zu seiner Herstellung wird zunächst der Boden der Meilerstätte geebnet und festgestampft, sofern nicht von früheren

Fig. 4.



Verkohlungen her noch eine Stätte verfügbar ist (alte Meilerstätten eignen sich besser als neue, da letztere leicht Veranlassung zu ungleichmässigem Zuge geben). In der Mitte der Stätte werden dann zunächst zwei oder drei „Quandelpfähle“ *A* aufgestellt, die man durch Spreizen *N* auseinander hält und durch Weidenruthen aneinander befestigt. Den Raum zwischen den Quandelpfählen füllt man mit trockenem Reisig oder dergleichen aus; an ihrem Fusse werden ringsherum einzelne trockene Brettchen auf die hohe Kante gestellt, um das Anzünden zu erleichtern, und beim Aufbauen (Richten) des Meilers legt man von hier aus am Boden der Stätte nach dem Umfange zu ein starkes Holz ein, welches später herausgezogen wird und hierbei einen von aussen nach innen führenden Kanal, die Zündgasse, offen lässt, durch welche das Anzünden der im Quandel angehäuften Brennstoffe bewirkt wird. Nun werden, wie die Abbildung darstellt, die zu verkohlenden Holzstücke rings um die Quandelpfähle her, und zwar möglichst dicht nebeneinander, aufgestellt; zu oberst bildet man eine Haube aus kleineren Holzstücken, so dass das Ganze annähernd paraboloidische Form erhält. Die gesammte Höhe eines Meilers pflegt 3—4 m zu sein, der gesammte

Rauminhalt 100—150 cbm; in einzelnen Fällen allerdings sind die Meiler erheblich kleiner, und in anderen beträgt ihr Inhalt bis zu 300 cbm.

Ist der Meiler gerichtet, so füllt man die Zwischenräume zwischen den einzelnen Scheiten im Umfange durch Einlegen dünner Holzstücke möglichst dicht aus und geht dann daran, ihn, wie schon erwähnt, mit Rasen, Laub, Moos, Nadelholzreisig oder dergleichen zu decken. Ringsum am Fusse lässt man bis zu einer Höhe von etwa 15 cm die Decke fehlen und schützt sie vor dem Hinuntergleiten durch eine auf Steinen ruhende Umfassung von Aesten oder dünnen Holzscheiten, den Fussrüsten oder Unterrüsten. Schliesslich wird der fertig gedeckte Meiler noch mit einem „Bewurfe“ aus Erde, gemischt mit Holzkohlenklein von früheren Meilern, versehen, und ist dann, nachdem man noch an der dem herrschenden Winde vorzugsweise ausgesetzten Seite des Meilers ein Windschauer, gewöhnlich eine aus Reisig gefertigte Wand, aufgestellt hat, zum Anzünden fertig. In der Abbildung stellt die mit *B* bezeichnete Lage die Decke, die äusserste schwarze Schicht den Bewurf des Meilers dar.

Kurze Zeit nachdem das Anzünden durch die Zündgasse bewerkstelligt worden ist, wird letztere sowie der Fuss des Meilers zugeworfen, und der Köhler regelt nun durch Anbringung sogenannter Raumlöcher das Feuer derartig, dass der Brand sich allmählich vom Scheitel nach dem Fusse hin ausbreitet. Jene Raumlöcher sind Oeffnungen, welche mit dem Stiele einer Schaufel durch den Bewurf und die Decke hindurch bis auf das Holz gestossen und gürtelförmig rings um den Meiler herum gewöhnlich in zwei Reihen übereinander angeordnet werden. Durch Zuwerfen einer oberen Reihe und Einstossen einer neuen weiter unten, wird das Feuer nach und nach abwärts gezogen. Im Anfange des Verfahrens entstehen durch heftig entweichende Dämpfe mitunter Explosionen (Schütten des Meilers), durch welche ein Theil der Decke abgeworfen wird, und in solchen Fällen ist eine sofortige Wiederherstellung der Decke erforderlich, damit nicht der Meiler durch die eindringende Luft in Flammen gerathe; beim Verkohlen selbst schwindet der Meiler, hohle Räume entstehen an einzelnen Stellen und müssen durch Nachfüllen frischen Holzes geschlossen werden. An der lichteren Farbe des Rauches erkennt schliesslich der Köhler, dass der Meiler „gaar“, d. h. dass die Verkohlung beendet ist. Die Decke wird nun sorgfältig geschlossen, um das Feuer zu ersticken; dann folgt als letzte Arbeit das Kohlenziehen, wobei täglich nur ungefähr 3 cbm Holzkohlen an ein und derselben Stelle herausgeholt werden. Die Stelle wird dann wieder gut verschlossen, damit nicht Entzündung des ganzen Meilers eintrete.

Die Zeitdauer der Verkohlung eines mittelgrossen Meilers pflegt 15—20 Tage zu betragen.

Abweichend von dem beschriebenen Verfahren der Meilerverkohlung verkohlt man in einzelnen Gegenden, jedoch seltener, die Holzscheite liegend, zu Haufen von trapezförmigem Querschnitte und rechteckiger Grundfläche aufgeschichtet (Haufenverkohlung oder Verkohlung in liegenden Meilern).

Da auch bei völligem Luftabschlusse, welcher in den Meilern niemals zu erreichen ist, ein Theil des Kohlenstoffs des Holzes in Ver-

bindung mit dem Sauerstoff- und Wasserstoffgehalte entweicht, bei der Verkohlung in Meilern aber ein Theil des Holzes selbst verbrannt werden muss, um die erforderliche Wärme zu erzeugen, ist es erklärlich, dass das Ausbringen an Holzkohlen niemals dem Kohlenstoffgehalte des benutzten Holzes auch nur annähernd gleich sein kann. Es beträgt durchschnittlich 22 v. H. des Holzgewichtes, ist grösser bei langsamer als bei zu sehr beschleunigter Verkohlung, grösser bei älterem und trockenem als bei jungem und nassem Holze, und fällt in einzelnen Fällen auf 17 v. H., während es in anderen bis auf 28 v. H. steigen kann. Letzteres Ausbringen kann jedoch nur dann erreicht werden, wenn die Verkohlung nicht ganz vollständig war. Dem Gemässe nach erhält man aus 1 cbm Holz etwa 0,6 cbm Holzkohlen (beides einschliesslich der Zwischenräume gemessen).

Da die Meilerverkohlung im Walde unweit der Gewinnungsstätte des Holzes vor sich gehen kann, und das Ausbringen an Kohlen bei der Verkohlung des Holzes überhaupt niedrig ist, erspart man durch dieses Verfahren gegenüber der Verkohlung auf der Hütte nicht unbeträchtlich an Fracht, welcher Umstand um so schwerer ins Gewicht fällt, je grösser die Entfernungen und je beschränkter die Verkehrsmittel sind. Die Beschaffenheit der Meilerkohlen ist bei richtiger Leitung des Verfahrens vortrefflich. Die Entgasungserzeugnisse aber (Holzessig u. a. m.) gehen bei der Meilerverkohlung ungenutzt verloren, und ihre Gewinnung in lohnender Weise ist bislang nicht gelungen, obgleich schon ziemlich häufig dahin zielende Versuche gemacht worden sind (Einstecken von Röhren in den Meiler zur Ableitung und Verdichtung der sauren Dämpfe, u. a. m.).

Verkohlung in Oefen.

Der Umstand, dass bei der Meilerverkohlung eine fast unausgesetzte Beaufsichtigung des Meilers zur Verhütung einer Entzündung erforderlich ist, die Thätigkeit des Köhlers hierdurch sehr anstrengend wird, und dass trotzdem bei aller Umsicht das Ausbringen an Holzkohle ziemlich gering bleibt, gab vermuthlich zuerst Veranlassung zur Anwendung von Oefen, d. h. geschlossener Räume, in welchen der Vorgang der Verkohlung in ähnlicher Weise wie bei einem Meiler verläuft, bei denen aber die bewegliche Meilerdecke durch die gemauerte Umfassung ersetzt und somit die Gefahr vermieden ist, dass durch unbeachtetes Abgleiten der Decke die Luft Zutritt erhält und den Meiler ganz oder theilweise entzündet.

In Europa ist das Verfahren selten, häufiger in Nordamerika in Anwendung gekommen, wohin die Ofenverkohlung ursprünglich aus Schweden verpflanzt wurde. Diese Oefen haben entweder rechteckige Grundform, sind oben durch ein Tonnengewölbe überspannt und etwa 15 m lang, 3,5 bis 5 m breit und ebenso hoch; oder sie sind cylindrisch gebaut und oben durch ein Kuppelgewölbe abgedeckt bei 8,5 m Durchmesser und 3,2 m Höhe bis zum Gewölbe; oder endlich, sie haben Kegelform bei 8,5 bis 9 m Durchmesser an der Grundfläche und 6 bis 8,5 m Höhe. Sämmtliche Oefen haben unten rings herum in den Umfassungswänden zwei oder drei Reihen von Oeffnungen zur Regelung des Luft-

zutritts.[1]) Eine hiervon vollständig abweichende Form von Verkohlungsöfen ist neuerdings durch Ljungberg auf dem schwedischen Eisenwerke Domnarfet eingeführt worden. Jeder Ofen besteht aus vier Kammern; die eine dient zum Vorwärmen des Holzes, die zweite zur Austreibung des Wassers, die dritte zur Verkohlung und die vierte zum Ablöschen und Ziehen. Der Betrieb findet ununterbrochen statt, und die Ergebnisse werden gerühmt. Als Heizmaterial dienen die entweichenden Gase, nachdem sie zuvor ihres Gehaltes an Theer, Essigsäure und Methylalkohol in besonderen Vorrichtungen beraubt wurden.[2])

Eine Gewinnung der dampfförmig entweichenden Nebenerzeugnisse findet bei den älteren Verkohlungsöfen nicht statt; angestellte Versuche, durch Einbauen von Röhren in die Ofenwände Gelegenheit zur Ableitung und Verdichtung der Dämpfe zu geben, scheinen einen befriedigenden Erfolg nicht gehabt zu haben.

Die Verkohlungsöfen erheischen Anlagekosten, welche getilgt werden müssen, und alljährliche Ausgaben der Unterhaltung, Geldbeträge, welche bei der Meilerverkohlung wegfallen; das Holz muss nach den Oefen befördert werden, und je weiter die Entfernung ist, desto stärker tritt der Unterschied in den Kosten für die Verfrachtung des Holzes und der Kohlen zu Tage. Dagegen ermöglichen die Oefen den Betrieb zu jeder Jahreszeit, die Löhne sind niedriger und das Ausbringen ist etwas günstiger als bei der Meilerverkohlung; zum Theil freilich nur deshalb, weil die Verkohlung weniger vollständig als in Meilern zu sein pflegt. Daher ist auch die Güte der ausgebrachten Kohlen nach dem Urtheile amerikanischer Eisenhüttenleute durchschnittlich geringer als die der Meilerkohlen. In den erwähnten Oefen von Ljungberg beträgt das Ausbringen 24,4 v. H. des Holzgewichts.

Verkohlung in Retorten.

Das Bestreben, die bei der Zersetzung des Holzes auftretenden Nebenerzeugnisse, insbesondere den Holzessig, zu gewinnen und nutzbar zu machen, führte schon vor geraumer Zeit zu der Anwendung von Retorten für die Verkohlung, d. h. von geschlossenen Behältern, welche von aussen durch besondere Feuerung erhitzt werden und aus welchen die sich verflüchtigenden Zersetzungsgebilde durch Röhren nach Verdichtungsvorrichtungen geführt werden können. In den meisten Fällen beschränkt sich allerdings die Anwendung des Verfahrens auf solche Verhältnisse, wo die Gewinnung der flüchtigen Körper Hauptzweck und die Gewinnung der Holzkohlen nur ein Nebenzweck ist; indessen hat man vereinzelt auch auf Eisenwerken das Verfahren eingeführt. In Deutschland sind am Harze zwei derartige Anlagen im Betriebe (Rübeland und Zorge). Hinsichtlich der Einzelheiten einer solchen Einrichtung und ihres Betriebes muss auf die gegebene Litteratur verwiesen werden.

1) Abbildungen dieser älteren Verkohlungsöfen findet man in den unter „Litteratur“ genannten Werken und Abhandlungen.

2) Aus Jernkontorets Annaler 1897, S. 5 in „Stahl und Eisen“ 1897, S. 932; auch „Stahl und Eisen“ 1898, S. 77.

Aus 100 kg Holz erhielt man auf den genannten Harzer Werken nach einem jährlichen Durchschnitte 20 kg Holzkohlen, 1 kg Holzgeist (Methylalkohol), 4 kg essigsaures Calcium; bei einer Holzverkohlungsanstalt zu Lohe im Siegenschen erhielt man dagegen, abweichend nach der Beschaffenheit des Holzes, 23 bis 25 kg Holzkohlen, 2 bis 5 kg Essigsäure, 39 bis 48 kg Theer und Holzgeist.[1])

Den Erträgen für die chemischen Erzeugnisse ausser der Holzkohle stehen die Mehrkosten für die Beförderung des Holzes, die Tilgungs- und Unterhaltungskosten der Anlage, die Betriebskosten für die Durchführung der chemischen Arbeiten, der Brennstoffverbrauch zum Heizen der Retorten, sowie auch der Umstand gegenüber, dass die Retortenkohlen einen geringeren Heizwerth besitzen als die Meilerkohlen, und dass ihr Verbrauch für den gleichen Zweck mithin entsprechend grösser ist. Ob der Werth der zu erlangenden Nebenerzeugnisse ausreicht, die Einführung des Verfahrens für Eisenwerke an Stelle der Meilerverkohlung zu rechtfertigen, bleibt von den örtlichen Verhältnissen abhängig. Jedenfalls ist in Rücksicht auf den schon erwähnten Umstand, dass die Benutzung des Holzes und der Holzkohle für die Zwecke des Eisenhüttenbetriebs sich von Jahr zu Jahr mehr verringert, je mehr die Verkehrsmittel sich ausdehnen, eine umfangreichere Einführung der Retortenverkohlung auf den Eisenwerken nicht mehr zu erwarten.

Eigenschaften der Holzkohle.

Die Holzkohle besitzt eine starke Neigung, Feuchtigkeit und Gase an ihrer Oberfläche zu verdichten, welche erst bei starker Erhitzung entweichen; war die Verkohlung aber nicht ganz vollständig gewesen, so enthält die Kohle auch noch kleinere oder grössere Mengen der flüchtigen Bestandtheile des Holzes (Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff). Bei der chemischen Untersuchung ist es nicht möglich, mit Sicherheit nachzuweisen, welcher der beiden Quellen die gefundenen flüchtigen Körper entstammen; für die Verwendung der Holzkohle ist dieser Nachweis auch ohne Belang. Als mittlere Zusammensetzung einer guten lufttrockenen Holzkohle kann man annehmen:

Kohlenstoff	Flüchtige Körper (ausser Feuchtigkeit)	Feuchtigkeit	Asche
84	4	10	2

1 cbm Nadelholzkohle (einschliesslich der Zwischenräume) wiegt 125 bis 180 kg, 1 cbm harte Laubholzkohle 200 bis 240 kg.

Gute Holzkohle ist tiefschwarz, hart, klingend, wenig abfärbend; war sie bei allzu raschem Betriebe oder bei Luftzutritt erzeugt, so ist sie mürbe, zerreiblich, abfärbend und besitzt geringen Brennwerth. Kohlen, die bei zu niedriger Temperatur gewonnen waren und demnach aus unvollständig verkohltem Holze bestehen, haben braune Farbe, grössere Festigkeit, brennen, wenn sie entzündet werden, mit Flamme und heissen Bränder.

1) Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ingenieure, 1893, Seite 1490.

c) Die Verkohlung des Torfes und die Torfkohle.

Man verkohlt den Torf, ebenso wie das Holz, in Meilern, in Oefen und in Retorten. Da das Verfahren für den Eisenhüttenbetrieb nur sehr untergeordnete Bedeutung besitzt, möge hinsichtlich seiner Ausführung auf die unten gegebene Litteratur verwiesen werden.

Die Torfkohlen zeigen in ihrem Aeusseren das Gefüge des benutzten Torfes, sind leicht, schwammig. Eine gute, für metallurgische Zwecke brauchbare Torfkohle lässt sich nur aus gepresstem Maschinentorf darstellen; Stechtorf liefert leichte, geringwerthige Kohlen. Die schon erwähnte schwache Seite der meisten Torfe, ihr grosser Aschengehalt, zeigt sich noch deutlicher bei der Torfkohle, in welcher der gesammte Aschengehalt unverändert zurückbleibt. Aus diesem Grunde pflegt man überhaupt nur die besten, aschenarmen Torfe der Verkohlung zu unterziehen.

Wie die Holzkohle enthält die Torfkohle noch flüchtige Körper und Feuchtigkeit. Der Gehalt an diesen Körpern ist dem der Holzkohle annähernd gleich, der Aschengehalt aber grösser, selten unter 5 v. H., oft erheblich darüber. Versuche, die Torfkohle für den Eisenhüttenbetrieb zu verwenden, sind zwar öfters angestellt worden, haben jedoch selten oder nie einen recht befriedigenden Erfolg geliefert (vergleiche Litteratur).

d) Die Verkohlung (Verkokung) der Steinkohlen und die Koks.

Allgemeines.

Nicht sowohl war es der Wunsch, eine flammenlos brennende Kohle zu erhalten, welcher die erste Veranlassung zur Verkohlung der Steinkohlen gab, sondern man hatte vielmehr, wie ältere Schriftsteller berichten, als vornehmsten Zweck ihre Entschweflung im Auge.[1]) Wahrscheinlich ist es allerdings, dass man den übeln, grösstentheils von unverbrannt entweichenden Kohlenwasserstoffen herrührenden Geruch, den eine in mangelhafter Feuerungseinrichtung verbrennende Steinkohle verbreitet, irrthümlicherweise für den Geruch von flüchtigem Schwefel hielt und, dieser Anschauung entsprechend, den wirklichen Zweck der Verkohlung nur unrichtig bezeichnete. Noch im vorigen Jahrhunderte bezeichnete man die Steinkohlenverkohlung nicht selten als Entschweflung.

Die ersten Versuche des Verfahrens wurden, wie aus einer in der Bibliothek zu Wolfenbüttel aufbewahrten Handschrift vom Jahre 1584 hervorzugehen scheint, durch Herzog Julius von Braunschweig-Lüneburg veranlasst.[2]) Im grösseren Maassstabe wurden bald darauf die Versuche in Grossbritannien fortgesetzt, und im Jahre 1619 erhielt Lord Dudley ein Patent auf ein von seinem Sohne Dud Dudley erfundenes Verfahren zur Eisenerzeugung mit Koks.[3])

1) R. C. Galloway, History of Coal Mining. London 1882. Daraus in F. Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund, Berlin 1887, Seite 5.

2) Ludwig Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 2, Seite 784.

3) Ebenda, Seite 1259.

Die Verkohlung der Steinkohlen nennt man Verkokung, das Erzeugniss Koks.

Wie schon früher erwähnt worden ist, benutzt man für die Verkokung in der Regel backende Kohlen, vereinzelt langflammige trockene Kohlen, gar nicht oder nur in Vermischung mit backenden anthracitische Kohlen.

Die Backfähigkeit verschiedener Steinkohlen gewährt einen eigenthümlichen Vortheil von nicht geringer Bedeutung. Da nämlich selbst ganz feinstückige backende Kohlen beim Erhitzen wieder zu festen, grossen Stücken zusammenschmelzen, ist die Möglichkeit gegeben, jene Kohlen vor der Verkokung einer Aufbereitung durch Zerkleinerung und Waschen zur Abminderung ihres Aschengehalts zu unterziehen. Zahlreiche Kohlenarten, welche ohne diese Aufbereitung zu aschenreich sein würden, um gut brauchbare Koks zu liefern, lassen sich bei Benutzung des genannten Mittels noch mit Vortheil für die Verkokung verwenden, und der jetzige Bedarf an aschenarmen Koks würde sich ohne die Benutzung aufbereitungsfähiger Backkohlen gar nicht decken lassen. Erst seit dem Jahre 1830 ist jedoch die Aufbereitung der Steinkohlen üblich geworden, und erst seit Anfang der sechziger Jahre wurde die Benutzung aufbereiteter Steinkohlen für die Verkokung allgemeiner.[1])

Da das Ausbringen an Koks im Allgemeinen mit dem Kohlenstoffgehalte der verwendeten Steinkohlen zunimmt, benutzt man für die Verkokung mit Vorliebe jene kohlenstoffreicheren Steinkohlen, welche zwar noch backen, aber weniger leicht als die kohlenstoffärmeren Gaskohlen und Schmiedekohlen, und deshalb einer höheren Temperatur als diese zur Verkokung bedürfen. Auch die Beschaffenheit der erfolgenden Koks hängt zum Theil von der Backfähigkeit der verwendeten Steinkohlen ab. Die leicht backenden gasreicheren Kohlen blähen sich beim Erhitzen stark auf, und die erfolgenden Koks sind infolge davon stark porig, verhältnissmässig leicht zerdrückbar und beim Verbrennen zur Kohlenoxydbildung geneigt (Seite 43); die weniger stark sich aufblähenden, schwieriger backenden, gasärmeren Steinkohlen geben dichtere, festere, beim Verbrennen zur Kohlensäurebildung neigende Koks, welche für die meisten Verwendungen geeigneter sind als jene.

Häufig vermischt man mehrere Steinkohlenarten, leicht und schwierig backende, nach geschehener Aufbereitung und gewinnt solcherart ein Material, welches besser für die Koksdarstellung geeignet ist, als die einzelne Sorte.[2]) Jenem starken Aufblähen gasreicher, leicht backender Kohlen lässt sich durch reichliches Befeuchten der Kohlen vor der Verkokung entgegen wirken, welches zugleich den Zweck verfolgt, die Ent-

1) Litteratur über Steinkohlenaufbereitung: A. Burat, Epuration de la houille, criblage, triage et lavage, Paris 1881; R. Lamprecht, Die Aufbereitung der Steinkohlen, Leipzig 1888; F. Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund, Seite 22; Nimax, Ueber Anlage von Kohlenwäschen, „Stahl und Eisen“, 1884, Seite 9.

2) Zum Mischen bedient man sich bei grösseren Anlagen besonderer mit Maschinenbetrieb versehener Gebäude, in welchen die Kohlen emporgehoben, gemischt und in die unten stehenden Behälter oder Wagen geschüttet werden. Abbildung solcher Kohlenmischer: Bulletin de la société de l'industrie minérale, tome 5, Tafel 16; Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate, Band 44 (1896), Tafel 31.

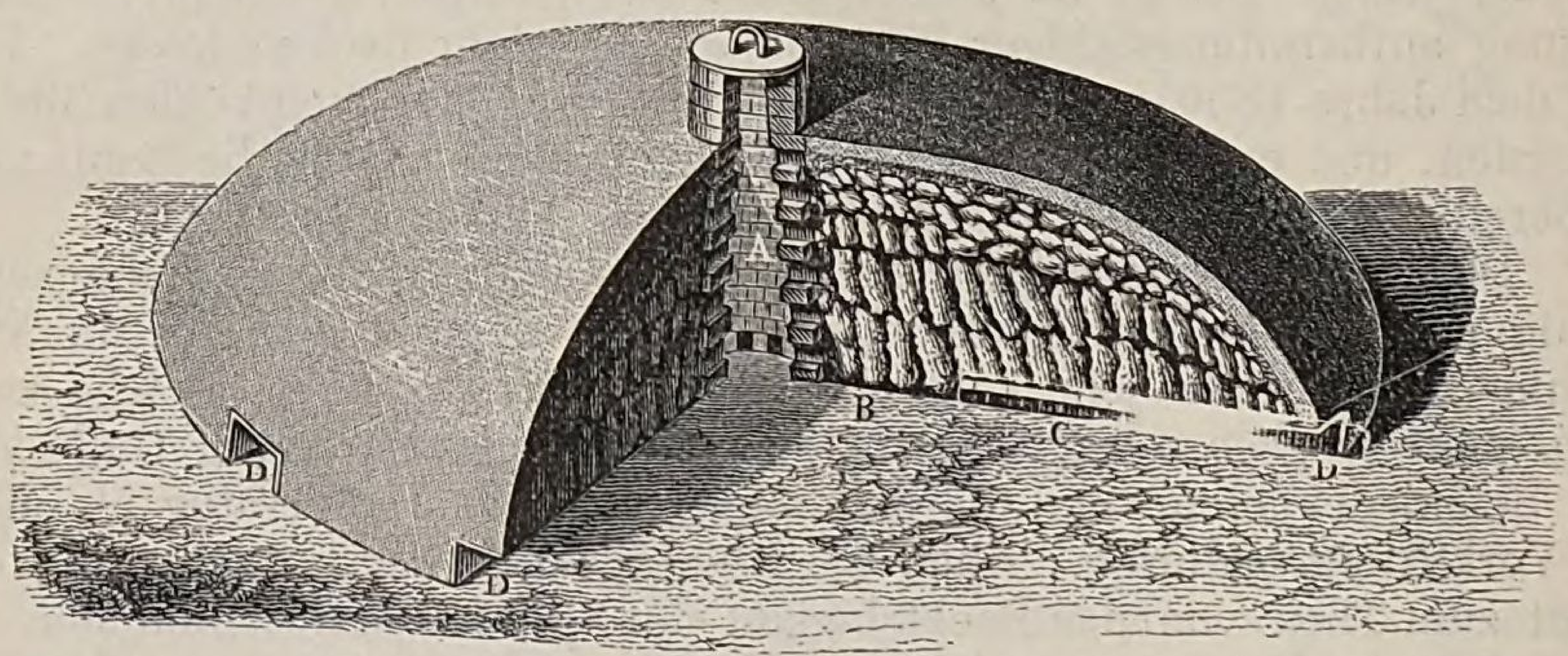
führung von Kohlentheilchen durch den Gasstrom zu erschweren. Es ist deshalb sogar Regel, aufbereitete Kohlen im stark angefeuchteten Zustande zu verkoken. Gasreiche Kohlen enthalten, wenn sie zur Verkokung gelangen, bis 15 v. H., gasärmere bis 10 v. H. ihres Eigengewichts Wasser. Zu der Verdampfung des Wassers aber wird eine erhebliche Wärmemenge verbraucht, und der Wasserzusatz bleibt deshalb immerhin ein Uebel, wenn auch oft ein unvermeidliches.

Von der Beschaffenheit der zur Verwendung stehenden Steinkohlen oder ihres Gemisches muss die Wahl des Verkokungsverfahrens abhängig sein.

Die Meilerverkokung.

Die Meilerverkokung ist das älteste Verfahren und der Holzverkohlung in Meilern nachgeahmt. Sie gestattet nicht die Anwendung

Fig. 5.



feinstückiger, also aufbereiteter Steinkohlen, sondern man muss Stückkohlen dafür benutzen; auch backende Kohlen sind nicht brauchbar, da bei dem eintretenden Zusammenfritten der Zutritt der Luft, welcher in beschränktem Maasse immerhin erforderlich ist, unmöglich werden würde. Zur Durchführung der Meilerverkokung muss, wie bei der Meilerverkohlung des Holzes, ein Theil der Kohlen selbst verbrannt werden, und das Ausbringen ist deshalb ungünstig. Hieraus erklärt sich, dass dieses Verfahren nur noch verhältnissmässig selten — in England und an einigen Orten Oberschlesiens — und nur da in Anwendung ist, wo aschenarme, billige, grossstückige Kohlen zur Verwendung stehen. Man verkokt in Meilern vornehmlich die oben erwähnten, an flüchtigen Körpern reichen Sinterkohlen und stellt daraus brauchbare Koks für Schachtofenbetrieb dar, für welchen die rohen Kohlen eben ihres Gehaltes an flüchtigen Körpern halber weniger geeignet sein würden.

Die Abbildung Fig. 5 stellt einen Steinkohlenmeiler dar.[1]) Zur Erzeugung des Luftzuges, welcher in Anbetracht der Schwerverbrennlichkeit und dichteren Lagerung der Steinkohlen stärker sein muss als bei Holzkohlenmeilern, stellt man in der Mitte des Meilers eine Esse mit Zuglöchern auf, oben durch einen Deckel zur Absperrung des Zuges

1) Aus B. Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde, 2. Aufl., Seite 123.

verschliessbar. Um die Esse herum werden die Kohlen in der Weise aufgestellt, wie die Figur zeigt. *DD* sind Zündkanäle, von aussen bis zur Esse führend, in der Nähe der letzteren (bei *B*) aus grossen Steinkohlenstücken, in der Nähe des Umfangs dagegen aus Ziegelsteinen gebildet. Auf die unteren grossstückigen Kohlen kommen mittelstückige, auf diese kleinere Würfelkohlen, zwischen welche man aus Ziegelsteinen einzelne wagerechte, nach der Esse führende Züge einbaut. Das Ganze wird mit Kokslösche zugedeckt. Ein solcher Meiler pflegt 1,5 bis 2 m hoch zu sein und 10 bis 30 t Steinkohlen aufzunehmen. Das Anzünden erfolgt entweder durch die Zündgassen, oder von dem Innern der Esse aus, oder von beiden Stellen zugleich.

Das Ausbringen bei der Meilerverkokung pflegt 60—65 v. H. des Steinkohlengewichts zu betragen. Zu berücksichtigen ist hierbei — wie bei den verschiedenen Verkokungsverfahren überhaupt — dass die Aschenbestandtheile der Kohle fast unverändert zurückbleiben und dass mithin das Ausbringen bei aschenreicher Kohle durchschnittlich höher als bei aschenarmer ausfällt; ferner dass die Zersetzung der Kohlen bei diesem Verfahren niemals ganz vollkommen ist. Diese Umstände erklären es, dass jenes Ausbringen trotz der unvermeidlichen Verbrennung von Kohle doch annähernd ebenso hoch, unter Umständen noch etwas höher sich beziffert als der Entgasungsrückstand der reinen Kohlenmasse (Seite 70).

Die älteren Verkokungsöfen.

Je mehr der Bedarf an Koks stieg, desto stärker machte sich die Nothwendigkeit geltend, ein Verkokungsverfahren zur Anwendung zu bringen, welches nicht, wie die Meilerarbeit, auf die Benutzung grossstückiger, nicht backender Steinkohlen beschränkt bleibt. So entstand die Ofenverkokung.

Unter den verschiedenen älteren Verkokungsöfen tritt uns als die einfachste Form unter dem Namen Schaumburger Ofen eine aus den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts stammende Einrichtung entgegen, welche man sich als eine seitliche, oben offene, aus Mauerwerk dargestellte Begrenzung eines liegenden Meilers mit langgestreckter Grundfläche vorstellen kann. Die Wärme wird dadurch besser zusammengehalten, und der Zutritt der Luft wird geregelt, indem man Oeffnungen in den Seitenwänden anbringt, die durch eingelegte Steine nach Belieben geschlossen werden können. Auch für backendes Kohlenklein lassen sich diese Schaumburger Oefen verwenden, die übrigens noch seltener als Meiler in Anwendung sind und mit diesen den Nachtheil eines ziemlich geringen Ausbringens gemeinsam haben. Ihrer Einfachheit und billigen Herstellung halber bedient man sich ihrer bisweilen noch, wo die Aufgabe vorliegt, rasch eine Einrichtung zur Verkokung grösserer Kohlenmengen zu schaffen.[1])

Eine andere, aus älterer Zeit stammende Gattung von Verkokungsöfen pflegt man Bäckeröfen oder Backöfen, in Grossbritannien ihrer Form halber Bienenkorböfen zu nennen. Jeder dieser Oefen bildet

1) Abbildung eines solchen Schaumburger Ofens: B. Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde, 2. Auflage, Seite 124.

einen geschlossenen, oben überwölbten Raum von kreisrunder, seltener gestreckter, Grundform, unten mit einer oder zwei Thüren zum Ausbringen, oben mit einer Füllöffnung und einer Abzugsöffnung für die Gase versehen. Der Ofen wird durch Verbrennung von Kohlen geheizt, dann, wenn die Wände glühend geworden sind, mit Kohlen beschickt, deren Zersetzung sofort beginnt. Man leitet nun durch Kanäle innerhalb des Ofengemäuers Luft in das Innere über die Kohlen, um die sich entwickelnden Gase zu verbrennen und hierdurch den Ofen in Gluth zu erhalten. Nach beendigter Verkokung werden die Thüren geöffnet, die Koks durch Besprengen mit Wasser abgelöscht und dann mit der Krücke herausgezogen, worauf der noch glühende Ofen sofort von Neuem gefüllt wird. Immerhin ist es unvermeidlich, dass neben den Gasen durch die eintretende Luft auch ein Theil der Koks selbst verbrannt wird, ja sogar verbrannt werden muss, damit die erforderliche Temperatur erzeugt werde; die Erhitzung aber bleibt bei dem beträchtlichen Ofenquerschnitte trotzdem ziemlich ungleichmässig. Lässt man die Gase ohne Weiteres aus dem Ofen austreten, so entwickeln sie beträchtlichen Rauch und belästigen die Umgebung. Die Bäckeröfen eignen sich der geschilderten Eigenthümlichkeiten halber mehr für gut backende, in niedriger Temperatur kokende, langflammige Kohlen als für solche, welche, reich an Kohlenstoff, schwieriger backen und einer höheren Temperatur für die Verkokung bedürfen, als in diesen Oefen zu erreichen ist. Sie sind verhältnissmässig selten geworden, seitdem man gelernt hat, auch die letzteren, für die Koksdarstellung werthvolleren Kohlen zu verkoken. Am häufigsten werden sie noch in Grossbritannien getroffen, wo die Beschaffenheit der Steinkohlen ihre Anwendung trotz des verhältnissmässig niedrigen Ausbringens und trotz der keineswegs ganz gleichmässigen Beschaffenheit der erfolgenden Koks rechtfertigen kann. Auch in Oberschlesien, wo leichtbackende Steinkohlen in reichlichen Mengen gewonnen werden, kann man vereinzelt noch Bäckeröfen finden; hier und da sieht man sie auch noch in Westfalen.[1])

Die Füllung pflegt etwa 6 t, die Zeitdauer der Verkokung 3 Tage zu betragen.

Neuere Verkokungsöfen.

Das Ziel, kohlenstoffreichere, ein höheres Ausbringen und dichtere Koks liefernde Steinkohlen für die Verkokung zu verwenden, lässt sich wegen der geringern Backfähigkeit dieser Kohlen nur erreichen, wenn man sie einer stärkern und gleichmässigern Erhitzung unterwirft, als in den älteren Verkokungsöfen zu erreichen ist. Seitdem man diese Thatsache und zugleich die Bedeutung erkannte, welche gerade die erwähnten Kohlen für die Koksdarstellung besitzen, sind zahlreiche Verkokungsöfen eingeführt worden, welche zum Unterschiede von den besprochenen als neuere Oefen bezeichnet werden können. Bei allen

1) Abbildungen von Bäckeröfen enthalten die meisten älteren metallurgischen Werke: z. B. Percy-Knapp, Metallurgie, Band 1, Seite 179—184; Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde, Seite 126. Angaben über die Abmessungen und den Betrieb der jetzt noch vorhandenen Bäckeröfen: Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund, Seite 28; Wedding, in „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 924 (mit Abbildungen).

diesen Oefen sind die zu verarbeitenden Kohlen in einem verhältnissmässig engen Raume, einer Kammer, eingeschlossen, welche von aussen wie eine Retorte geheizt wird; als Heizmaterial dienen die aus den Kohlen selbst entweichenden Gase, welche in Zügen um die Kammern herumgeführt werden, und bei zweckmässiger Einrichtung der Oefen bleibt selbst bei Verkokung gasarmer Kohlen gewöhnlich noch eine ausreichende Abhitze, um für Nebenzwecke (z. B. Dampfkesselfeuerung) benutzt werden zu können.

Diese Heizung der Oefen von aussen bildet den wesentlichsten Unterschied gegenüber der Einrichtung der besprochenen Bäckeröfen.

Jeder einzelne Ofen besitzt die Form eines hohlen Prismas mit rechteckigem Querschnitt und senkrechter oder, weit häufiger, wagerechter Achse; damit aber durch die Heizung von aussen die erforderliche starke und doch gleichmässige Erhitzung des Innern möglich sei, darf die Breite des Ofens (Prismas) nicht beträchtlich sein. Sie schwankt von 0,40 bis 1,00 m und ist um so geringer, je schwieriger die Kohle backt, je stärkere Erhitzung also erforderlich ist.

Umgekehrt würde eine leichter backende und gasreichere Kohle sich stark aufblähen und wenig dichte Koks liefern, wenn man sie in sehr schmalen Oefen einer zu raschen und starken Erhitzung aussetzen wollte. Die Einrichtung der Oefen im Einzelnen muss der Beschaffenheit der zu verkokenden Steinkohlen angepasst sein.

Dieser verschiedenen Einrichtung des Ofens und Beschaffenheit der Kohlen gemäss schwankt die Verkokungszeit zwischen 24 bis 60 Stunden. Da aber die Erzeugung eines einzelnen Ofens, entsprechend seinem geringen Fassungsraume, ziemlich beschränkt ist und durchschnittlich nicht mehr als etwa 50 t monatlich beträgt, so vereinigt man eine grosse Zahl neben einander angeordneter Oefen zu einer gemeinschaftlichen Gruppe, häufig Batterie genannt.

Der Betrieb dieser Oefen geht, sobald sie einmal in Gluth sich befinden, ununterbrochen fort, da nach dem Einschütten frischer Kohlen sofort die Zersetzung beginnt und brennbare Gase entweichen. Ein kalter Ofen dagegen muss, bevor das Einschütten beginnen kann, zuvor erhitzt werden.

Das Ausbringen in diesen Oefen ist durchschnittlich höher als in den besprochenen älteren Oefen, theils weil die Kohlen selbst mehr als in letzteren vor Verbrennung geschützt sind, hauptsächlich auch, weil der Entgasungsrückstand der zur Verkokung benutzten Kohlen an und für sich grösser ist. Meistens beträgt das Ausbringen 70 bis 73 v. H. des Steinkohlengewichts.

Oefen mit senkrechter Achse, deren ältester schon 1854 durch Appolt eingeführt wurde, sind, wie erwähnt, in jetziger Zeit selten, so dass hinsichtlich ihrer Einrichtung auf die am Schlusse dieses Abschnitts gegebene Litteratur verwiesen werden kann.[1]) Sie sind kostspieliger in der Anlage und Unterhaltung als diejenigen mit wagerechter Achse.

1) Insbesondere enthalten die Werke von Dürre ausführliche Mittheilungen hierüber.

Letztere (liegende Oefen) pflegen 7 bis 10 m lang, 1,2 bis 1,9 m hoch zu sein, während ihre Breite, wie schon erwähnt wurde, zwischen 0,4 bis 1,0 m schwankt und vornehmlich von der Beschaffenheit der zu verkokenden Steinkohlen abhängt. Das Einfüllen erfolgt durch Oeffnungen im Scheitel, welche nach Beendigung des Füllens durch aufgelegte Deckel geschlossen werden; an den beiden Stirnseiten sind die Oefen durch eiserne, innen mit feuerfestem Futter versehene Thüren geschlossen, welche senkrecht aufgezogen werden können oder sich in Angeln drehen und seitlich aufschlagen. Die Fugen werden mit Lehm verstrichen; in der obern Thürhälfte pflegen Schauöffnungen angebracht zu sein, welche auch das Zulassen von Luft über die Kohlen ermöglichen. Die Veranlassung hierzu kann bei allen Verkokungsöfen, welche nur durch die Gase einer einzigen Kammer geheizt werden, der Umstand geben, dass die Menge und Zusammensetzung jener Gase in den verschiedenen Zeitabschnitten der Entgasung wesentliche Unterschiede zeigt. Je reichlicher aber die in die Züge eintretende Gasmenge ist, desto weniger Luft wird angesaugt; die Folge davon ist nicht nur das Entweichen unverbrannter Gase, sondern auch die Ablagerung von graphitartigem Kohlenstoff in den Zügen, wodurch diese verstopft werden. Durch Einlassen von Luft in die Kammern während der stärksten Gasentwickelung lässt sich das Uebel zwar nicht beseitigen, aber etwas abmindern.[1])

Der Anordnung der Züge gemäss, in welchen die zur Heizung dienenden Gase um den Ofen herumgeführt werden, lassen sich diese liegenden Oefen in zwei Gruppen, mit wagerechter und mit senkrechter Zugführung, eintheilen, deren Eigenthümlichkeiten am leichtesten durch Beispiele Erläuterung finden.

Als ein Beispiel der älteren dieser beiden Gruppen mit wagerechter Zugführung kann der in Fig. 6 und 7 abgebildete, in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts eingeführte und jetzt nur noch selten benutzte Koksofen von Smet dienen.[2]) Die Gase treten durch zwei im Gewölbe angebrachte Oeffnungen *aa* in zwei durch senkrechte Scheidewände *bb* von einander getrennte Kanäle *cc* an der rechten Seite jedes Ofens; jeder der beiden Gasströme streicht dann in wagerechter Richtung zunächst oberhalb der wagerechten Zunge *d* von der Mitte des Ofens nach dem Ende zu, tritt durch den Schlitz *f* unter die Zunge *d*, zieht in dem Kanale *g* abermals in wagerechter Richtung rückwärts, um von hier aus in die Sohlenkanäle cc_1 hh_1 einzutreten und schliesslich durch die in der Mitte der Ofenlänge angebrachte, durch eine senkrechte Scheidewand ebenfalls in zwei Hälften getheilte Esse ll_1 zu entweichen. Jeder Ofen hat demnach, wie auch Fig. 6 erkennen lässt, seine eigene Esse. *m* in Fig. 6 ist eine der Füllöffnungen, deren jeder Ofen zwei in entsprechendem Abstande von einander besitzt (in Fig. 7 durch Punkte angedeutet). Fig. 6 lässt auch die Verankerung der Oefen und die Anordnung der Thüren erkennen.

1) Ein günstigerer Erfolg lässt sich erreichen, wenn man die Gase mehrerer Kammern, welche zu verschiedenen Zeiten beschickt werden, vereinigt, bevor sie in die Züge eintreten. Bei den unten besprochenen, zur Gewinnung der Nebenerzeugnisse dienenden Verkokungsöfen macht man von diesem Mittel Anwendung.

2) Die eingeschriebenen Maasse bedeuten Centimeter; die Höhe (2,70) und Länge (6,08) dagegen sind in Metern angegeben.

Fig. 6.

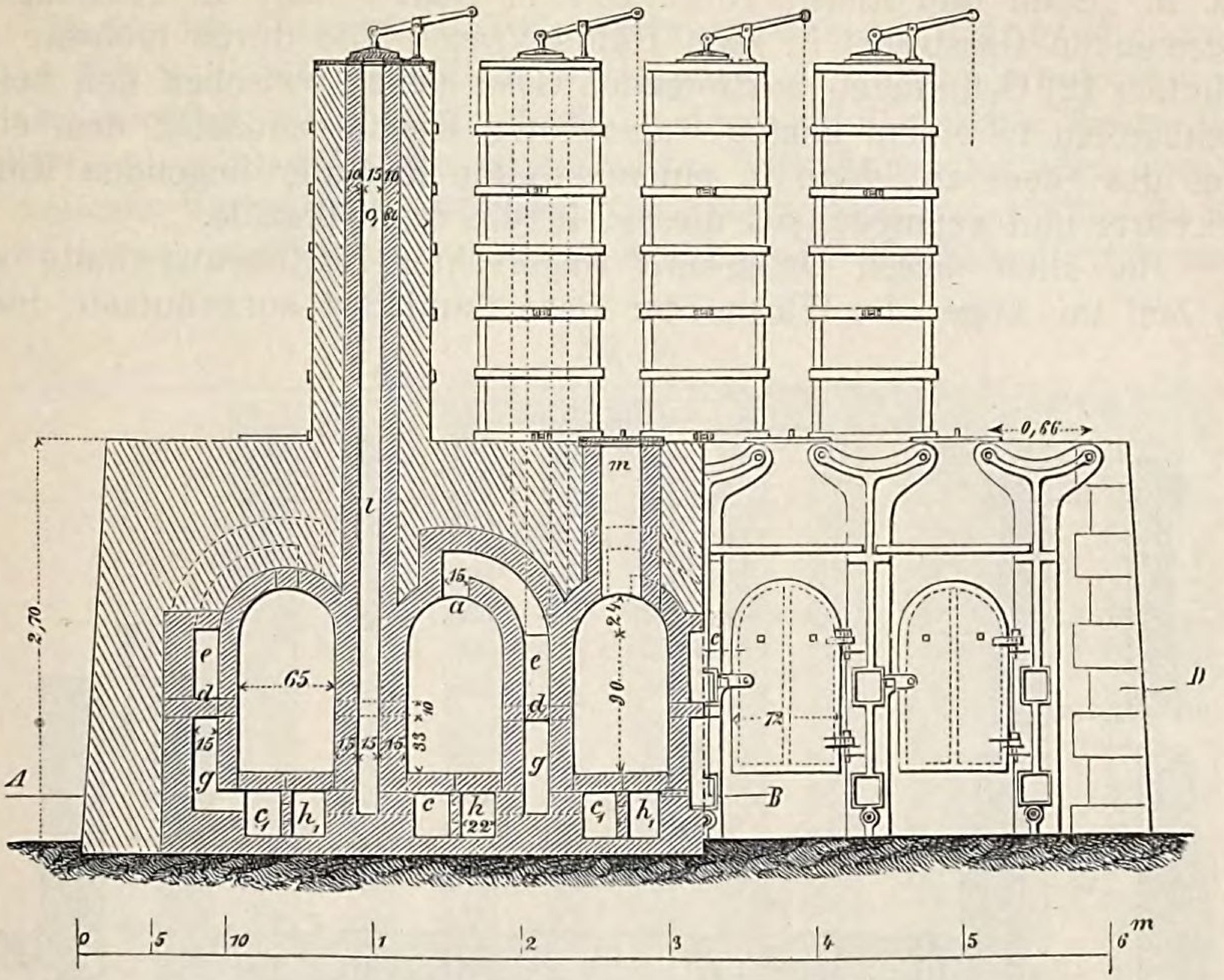
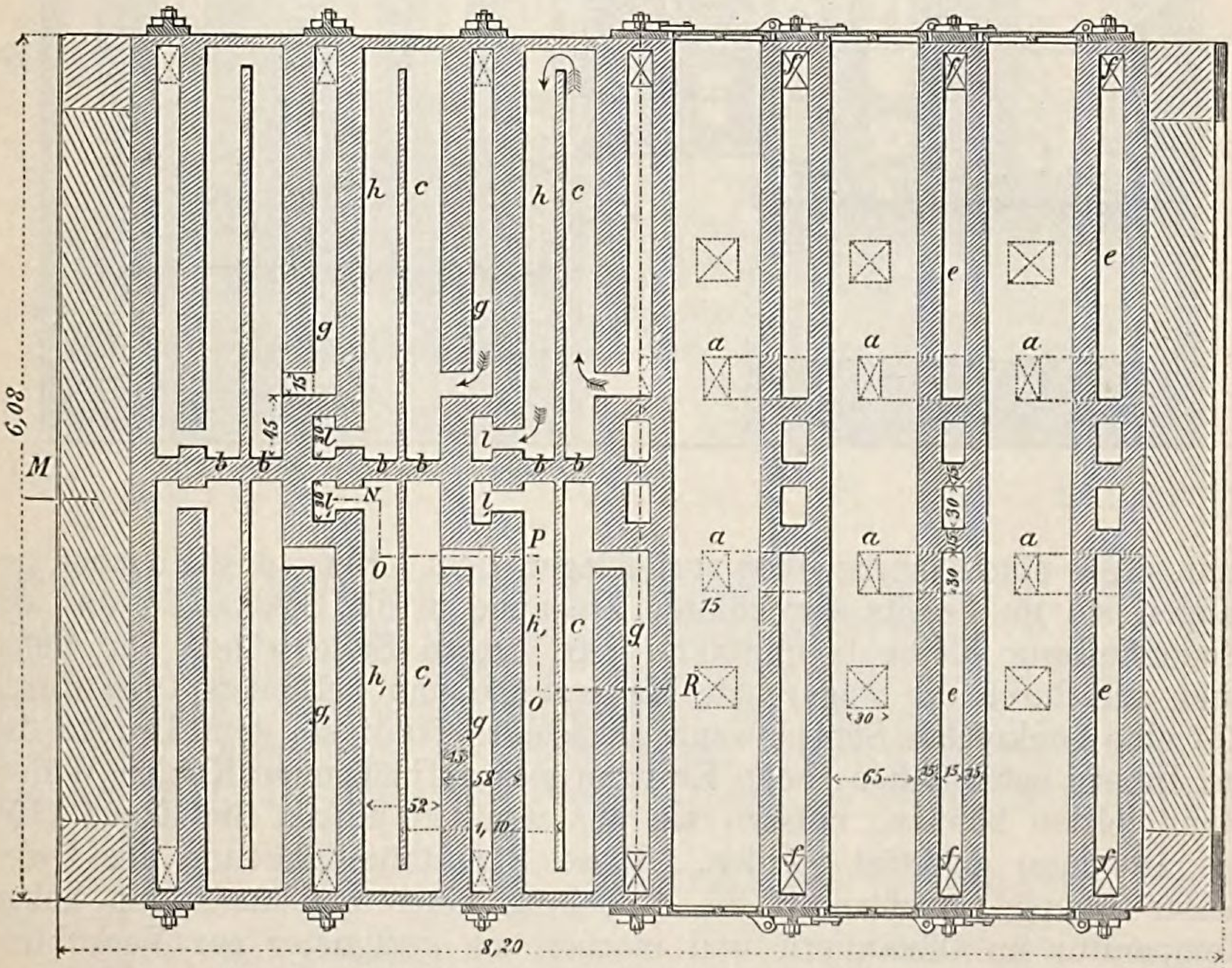

l
m
a
e
d
g
c
h
A
B
D
2,70
0,66
65
72
90
0 5 10 1 2 3 4 5 6 m

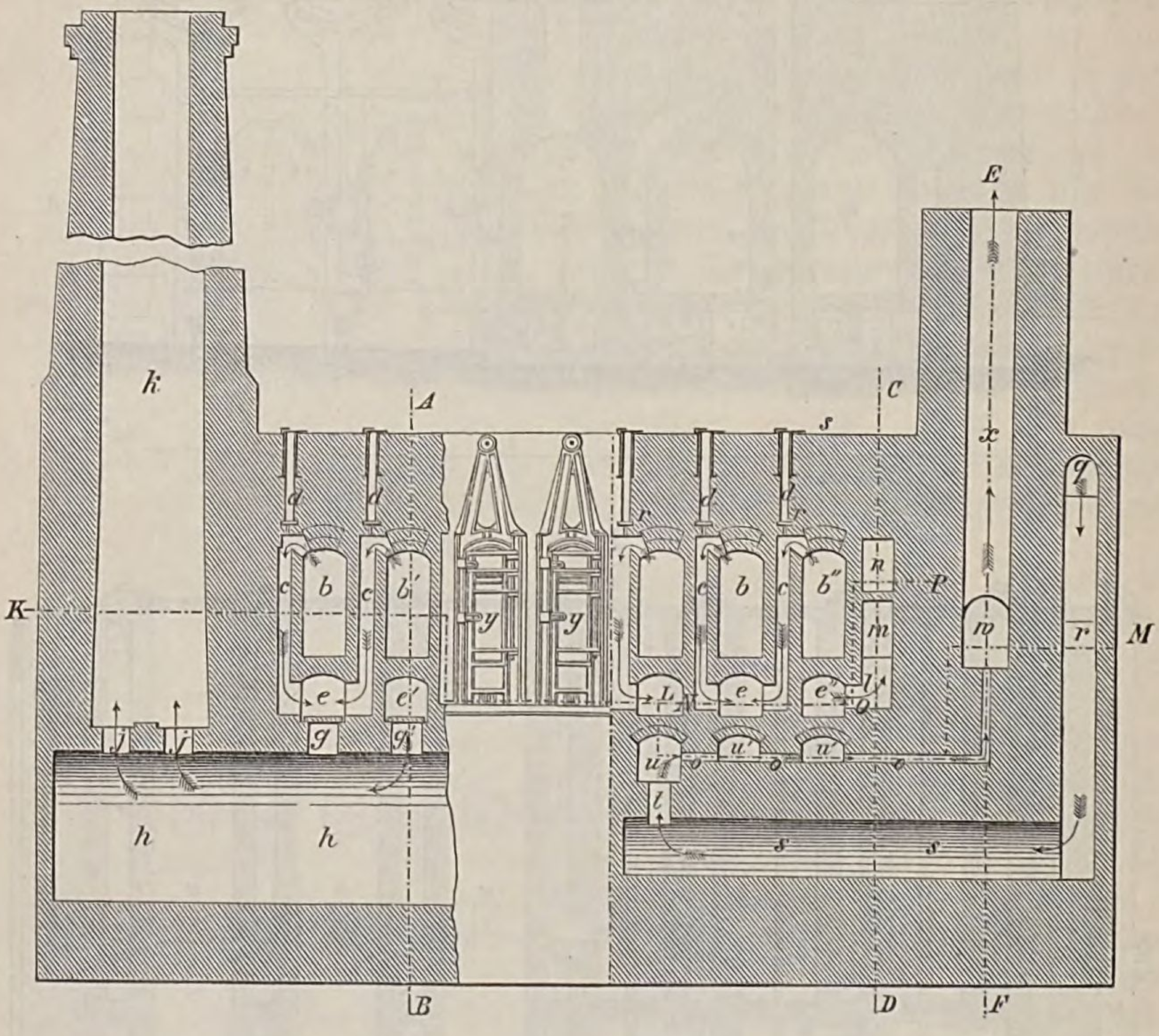
Fig. 7.


h c
g
l
b
N
O
P
a
e
f
M
R
6,08
8,20
65
52

Bei anderen Oefen dieser Gruppe (z. B. Haldy's Ofen, abgebildet u. a. in „Stahl und Eisen" 1883, Heft 7, Blatt 1) fällt die Theilung des austretenden Gasstroms in zwei Hälften weg. Die durch mehrere (gewöhnlich 12) Oeffnungen austretenden Gase ziehen zwischen den beiden Nachbaröfen in einem langen wagerechten Kanale zunächst dem einen Ende des Ofens zu, dann in einem zweiten darunter liegenden Kanale rückwärts und gelangen aus diesem in die Sohlenkanäle.

Bei allen diesen Oefen mit wagerechter Zugführung hatte man das Ziel im Auge, die Wärme der Gase thunlichst auszunutzen, indem

Fig. 8.

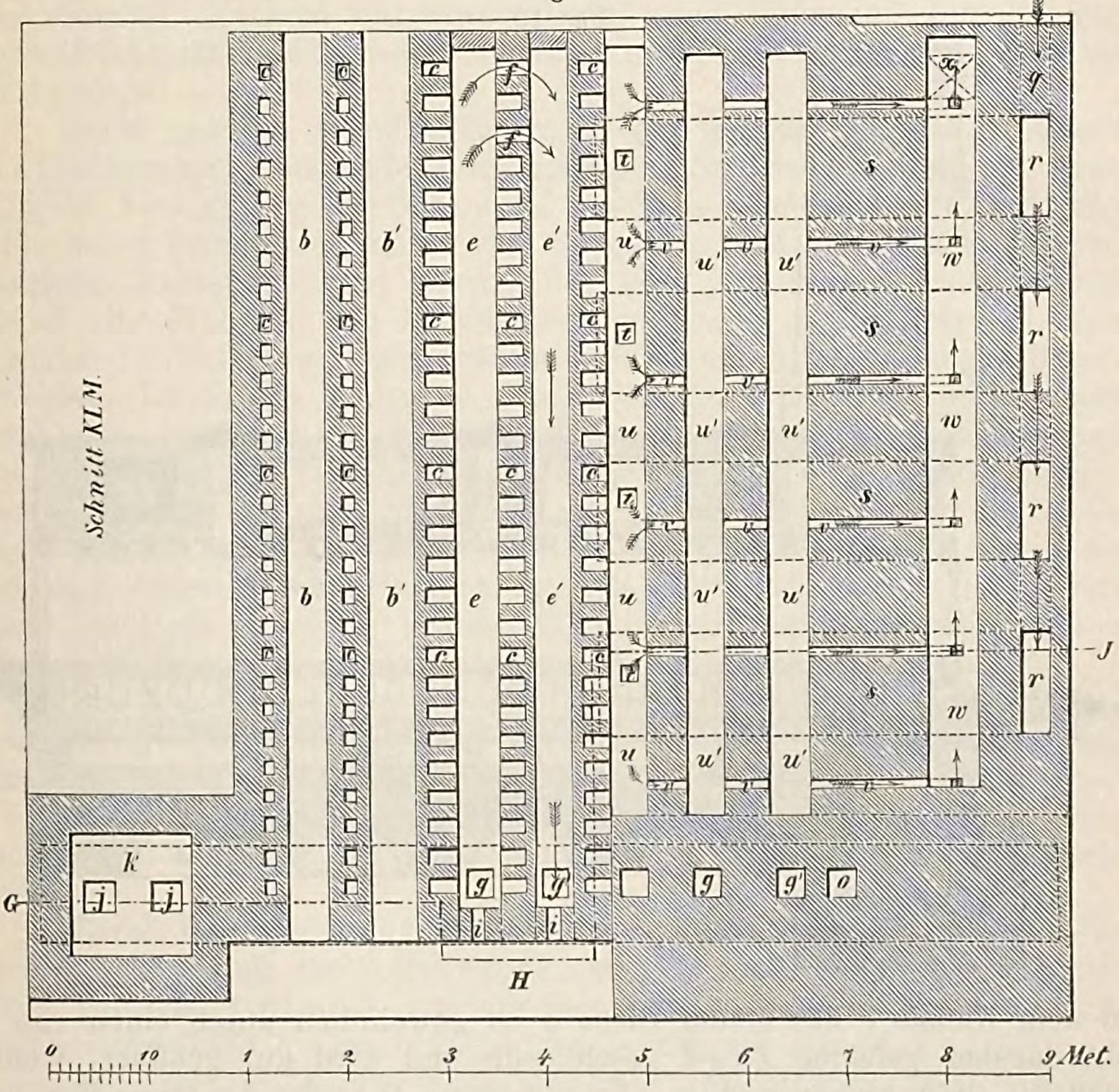


man diese einen langen Weg zurücklegen liess. Eben deshalb aber gelangen sie im bereits abgekühlten Zustande in die Sohlkanäle und die Bodenheizung bleibt beschränkt. Die langen Seitenwände der Oefen sind nur durch die wagerechte Mauerzunge und bei Smets Ofen durch die eine senkrechte Scheidewand abgesteift; damit sie dem Drucke der im Innern befindlichen, beim Erhitzen sich aufblähenden Kohlen Widerstand leisten können, müssen sie aus ziemlich dicken Steinlagen (150 bis 160 mm) gefertigt werden. Diese Eigenthümlichkeiten der Oefen dieser Gruppe erschweren die Erzielung einer gleichmässigen hohen Temperatur im Ofeninnern und machen sie geeigneter zur Verkokung gut backender Kohlen als solcher, welche zwar ein höheres Ausbringen

als diese liefern, aber auch einer höheren Temperatur für die Verkokung bedürfen.

Unter den Verkokungsöfen mit senkrechter Zugführung ist der in Fig. 8 bis 10 abgebildete[1]) Ofen von Coppée vornehmlich berühmt geworden, welcher, im Anfange der sechziger Jahre dieses Jahrhunderts eingeführt, unter sämmtlichen Verkokungsöfen der Jetztzeit die weiteste Verbreitung gefunden hat. Die Figur zeigt eine im Anfange der achtziger Jahre errichtete Anlage. In den Einzelheiten lassen

Fig. 9.



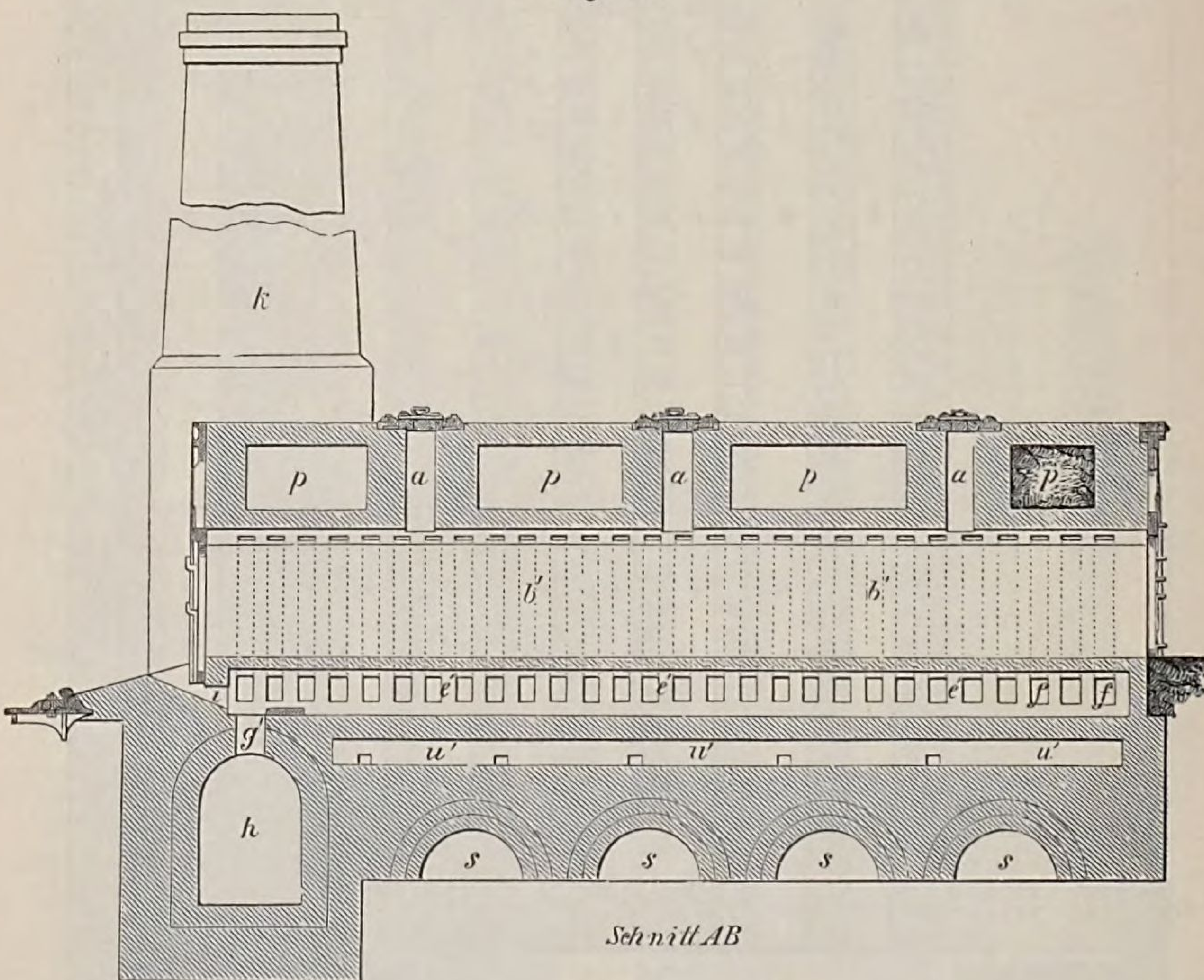
später gebaute Oefen hier und da Abweichungen erkennen; die Anordnung im Wesentlichen aber ist die nämliche geblieben. *b*, *b'*, *b''* sind die einzelnen zu einer „Batterie" vereinigten Oefen, *a a a* (Fig. 10) die Füllöffnungen. Man pflegt den Oefen 9 bis 10 m Länge, 1,6 bis 1,8 m Höhe und 0,6 m Breite zu geben, wobei auf 48stündigen Betrieb gerechnet ist.[2]) Die Gase des Ofens *b* treten an der einen Seite durch

1) Aus A. v. Kerpely, Anlage und Einrichtung der Eisenhütten, Taf. 63, Fig. 1—3.

2) Bei den abgebildeten, für 24stündigen Betrieb bestimmten Oefen beträgt die Breite an dem einen Ende nur 0,43 m und an dem andern Ende 0,48 m.

28 bis 30 gleichmässig vertheilte Oeffnungen in einen wagerechten, längs des Ofens sich erstreckenden und die Gase vereinigenden Kanal,[1]) ziehen von hier aus zwischen zwei Nachbaröfen durch die senkrechten Kanäle *c c* abwärts, vereinigen sich in dem geräumigen Sohlenkanale *e* mit den Gasen des Nachbarofens *b*, gelangen, nachdem sie die Sohle des ersten Ofens erhitzt haben, unter die Sohle des zweiten und entweichen schliesslich durch die Oeffnungen *g'* in den gemeinschaftlichen Kanal *h*, welcher sie durch Schlitze *j j* der gemeinschaftlichen Esse *k* (oder häufig zunächst dem Dampfkesselofen) zuführt. Die Oeffnung *g*

Fig. 10.



in dem Kanale *e* des ersten Ofens *b* ist gewöhnlich durch einen von *i* aus darüber gelegten Ziegel geschlossen und wird nur geöffnet, wenn man die Gase wegen zufälliger Störungen im Betriebe des Ofens *b'* nicht nach diesem hinüberleiten darf, wobei dann auch die Verbindungskanäle *f f* (Fig. 10) geschlossen werden müssen. Durch Vereinigung der Gase zweier Oefen in dem Sohlenkanal und Beschickung dieser Oefen zu verschiedener Zeit vermindert man die schon erwähnten Uebelstände, welche auf den Schwankungen der Menge und Zusammensetzung der aus einem einzigen Ofen erfolgenden Gase beruhen.

Die Verbrennungsluft gelangt durch einzelne senkrechte, mit Schiebern versehene Röhren *d d* (Fig. 8) zunächst in wagerechte Kanäle,

1) Dieser wagerechte Kanal ist erst bei später erbauten Oefen eingeschaltet und daher in der Figur nicht sichtbar.

welche unmittelbar oberhalb der senkrechten Feuerzüge in der Längsrichtung des Ofens sich erstrecken, um hier vorgewärmt und dann durch einzelne Oeffnungen den aus den Oefen austretenden Gasen zugeführt zu werden.

Die senkrechten Feuerzüge sind durch ebenso viele Scheidewände getrennt, welche, von der Wand des einen Ofens zu der des Nachbarofens hinübergehend, diesen Wänden eine grosse Standfestigkeit verleihen, und eine gut durchdachte Form der zum Bau benutzten feuerfesten Ziegel trägt noch zur Erhöhung dieser Standfestigkeit bei. Dadurch wird es ermöglicht, die Stärke der Ofenwände auf ein kleines Maass (bei einzelnen Anlagen nur etwa 90 mm) zu beschränken, ohne dass der Ofen Gefahr läuft, sich unter dem Drucke der sich aufblähenden Kohlen zu bauchen.

Diese geringe Wandstärke im Verein mit der Eigenthümlichkeit der Gasführung, insbesondere der geringen Längenausdehnung der Züge und der Vereinigung der Gase unter der Sohle, ermöglicht die Erzielung einer hohen Temperatur, welche den Coppéeofen zur Verkokung magerer, gasarmer Kohlen geeignet macht; aber eben jene starke Sohlenheizung macht eine Kühlung des Unterbaues nothwendig. Ein Netzwerk von Kanälen im Unterbau, durch welche Luft hindurchstreicht, dient diesem Zwecke. Durch die beiden an den Enden der Ofengruppe befindlichen Oeffnungen *q* (Fig. 8, 9) tritt die Luft in die senkrechten Kanäle *r* und aus diesen in die bis zur Mitte der Oefen sich erstreckenden wagerechten Kanäle *s s*; von hier steigt sie durch kurze Kanäle *t t* in die eigentlichen, unter den Feuerzügen gelegenen Kühlkanäle, indem sie aus dem ersten dieser Kühlkanäle *u* sich allmählich nach *u' u'* vertheilt, und sie entweicht schliesslich aus dem Sammelkanale *w* durch die kurze Esse *x* ins Freie.[1])

Bei dem letzten Ofen an der rechten Seite müssen, damit er ausreichend erhitzt werde, die Gase auch die rechte Seitenwand bestreichen. Sie treten also, wie in Fig. 8 ersichtlich ist, nachdem sie die Sohlen *e e''* erhitzt haben, durch die Schlitze *l l* in die wagerechten Kanäle *m n* und von hier erst wieder abwärts in den zur Esse führenden Sammelkanal *h*.

Damit die Entleerung der Kammern besser und ohne Gefahr für eine Beschädigung der Seitenwände vor sich gehe, laufen die letzteren nicht vollständig parallel, sondern gehen nach der Richtung hin, nach welcher die Koks ausgedrückt werden, etwas aus einander.

Auf der Decke der Oefen sind zur Verminderung von Wärmeverlusten die gemauerten, mit schlechten Wärmeleitern gefüllten Behälter *p* angebracht.

Die Gewinnung der Nebenerzeugnisse bei der Verkokung der Steinkohlen.

Obgleich schon früher mehrfach Vorschläge und Versuche gemacht wurden, die mit den Gasen der Steinkohlen davongehenden Neben-

1) Bei neueren Coppéeöfen gelangt die vorgewärmte Luft in einen quer über die Ofenbatterie hinweggehenden Kanal, um von hier aus in die Feuerzüge geführt und zur Verbrennung der Gase benutzt zu werden. Die Luftkanäle *d d* (Fig. 8) fallen hierbei weg.

erzeugnisse — im Wesentlichen Theer und Ammoniak — zu gewinnen, hat man doch erst in den letztverflossenen Jahrzehnten diesem Gegenstande eine seiner Wichtigkeit entsprechende Aufmerksamkeit geschenkt. Man hat berechnet, dass allein bei den englischen Eisenwerken, wenn sie jährlich 7 Millionen Tonnen Koks verbrauchen, ein jährlicher Gewinn von 27 Millionen Mark durch die Gewinnung der Nebenerzeugnisse zu erzielen sei.[1])

Von der Beschaffenheit der verwendeten Steinkohlen hängt nun freilich auch die Ausbeute an diesen Nebenerzeugnissen ab. Je gasreicher jene sind, desto grösser ist im Allgemeinen auch die Ausbeute, als desto vortheilhafter wird demnach auch die immerhin schon kostspielige Anlage zur Gewinnung der Nebenerzeugnisse sich erweisen.

Die ersten grösseren derartigen Anlagen wurden in Frankreich durch Carvès im Jahre 1867 zu Bessèges und 1878 zu Terrenoire gebaut.[2]) In Deutschland hat man erst seit 1882 das Verfahren eingeführt; seitdem aber ist die Zahl der für die Gewinnung der Nebenerzeugnisse bestimmten Anlagen recht beträchtlich geworden.

Bei allen Verkokungsöfen, welche für diese Art des Betriebes bestimmt sind, werden die Gase, bevor sie in die Heizkanäle der Oefen eintreten können, abgesaugt, um in einem besonderen Gebäude ihres Theer- und Ammoniakgehalts beraubt zu werden, und erst dann werden sie zu den Oefen zurückgeführt, welche sie zu heizen bestimmt sind. Wichtiger noch als bei den Oefen ohne Gewinnung der Nebenerzeugnisse ist es hierbei, dass die Fugen der Ofenwände dicht schliessen, da jedes Uebertreten von Gasen in die Heizkanäle oder von Verbrennungsluft aus den Heizkanälen in den Ofen einen Verlust an den zu gewinnenden Nebenerzeugnissen bedeutet. Daher muss auch die Gasspannung im Ofen und in den Heizkanälen möglichst gleich sein.

Theer und Ammoniak aber lassen sich nur gewinnen, wenn die Gase durch Waschen mit Wasser abgekühlt werden. Die von ihnen aus den Oefen mitgebrachte Wärme geht hierbei verloren; damit sie trotzdem bei der Verbrennung die zum Heizen der Oefen erforderliche Temperatur entwickeln können, ist starke Vorwärmung der Luft um so zweckmässiger, je höher jene Temperatur sein muss, also je magerer die zu verkokenden Kohlen sind.[3])

Die anfänglich gehegte Besorgniss, dass die Beschaffenheit des Haupterzeugnisses der Verkokungsanlage, der Koks, bei Gewinnung der Nebenerzeugnisse Einbusse erleiden werde, hat sich als unbegründet erwiesen. Das Ausbringen an Koks aber ist in den Oefen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse häufig etwas höher als in den gewöhnlichen Oefen; denn da bei diesem Verfahren die Gase zahlreicher Oefen vereinigt werden, ehe sie in die Heizkanäle eintreten, fallen auch jene auf Seite 84 erwähnten Uebelstände weg, welche durch die wechselnde

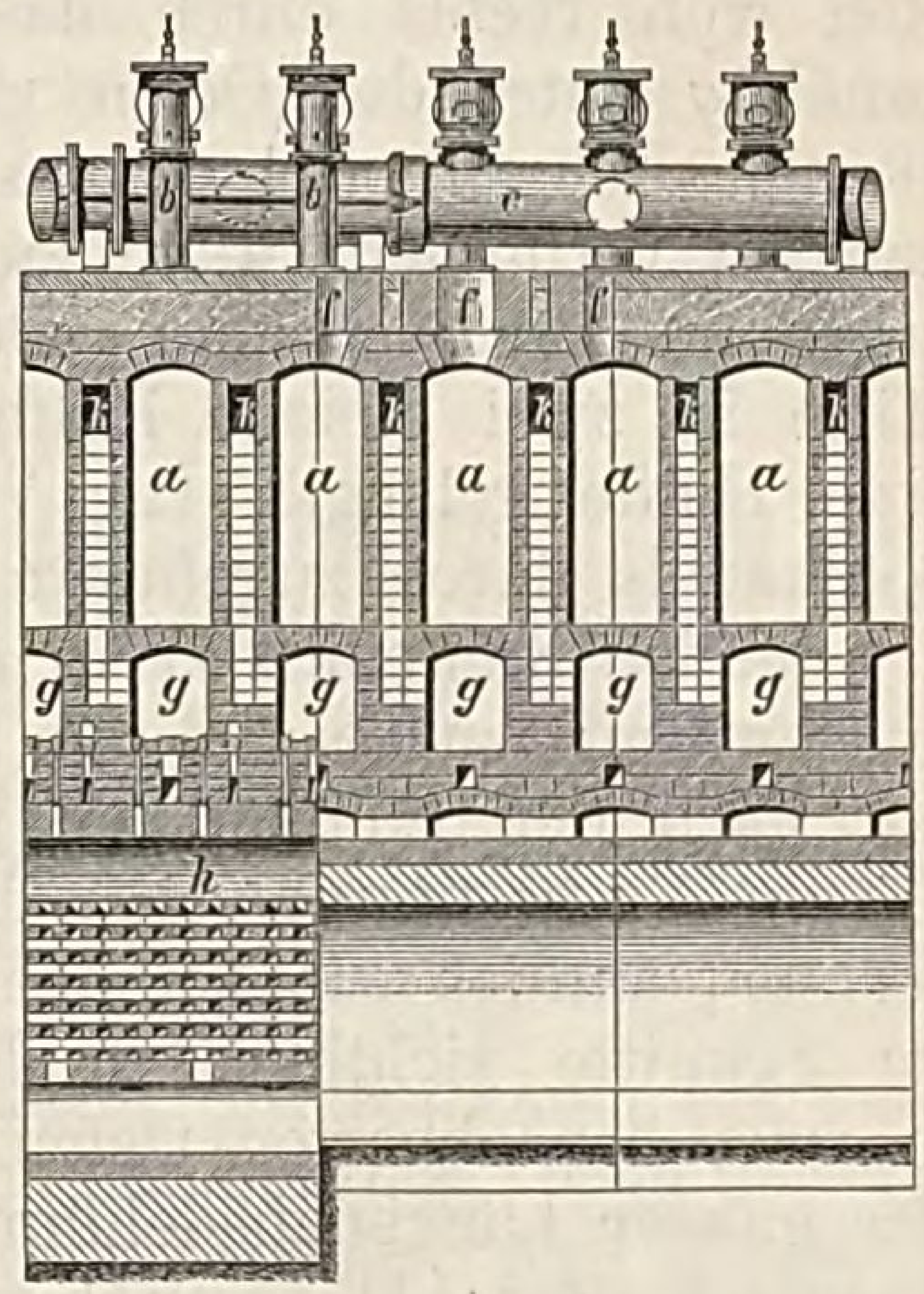
1) Journal of the Iron and Steel Institute 1880, I, p. 137. Seit jener Zeit ist der Verbrauch der Eisenwerke an Koks nicht unerheblich gestiegen.

2) Ueber einen noch älteren Ofen für den gleichen Zweck (Ofen von Knab) vergleiche Dingler's polytechnisches Journal, Band 154, Seite 97.

3) Vorwärmung der Gase hat sich als entbehrlich erwiesen, da ihre günstige Zusammensetzung schon an und für sich die Erzielung hoher Verbrennungstemperaturen erleichtert.

Zusammensetzung der Gase eines einzigen Ofens hervorgerufen werden, und man hat demnach auch keine Veranlassung, Luft in das Innere der Oefen eintreten zu lassen, sondern kann diese luftdicht schliessen.

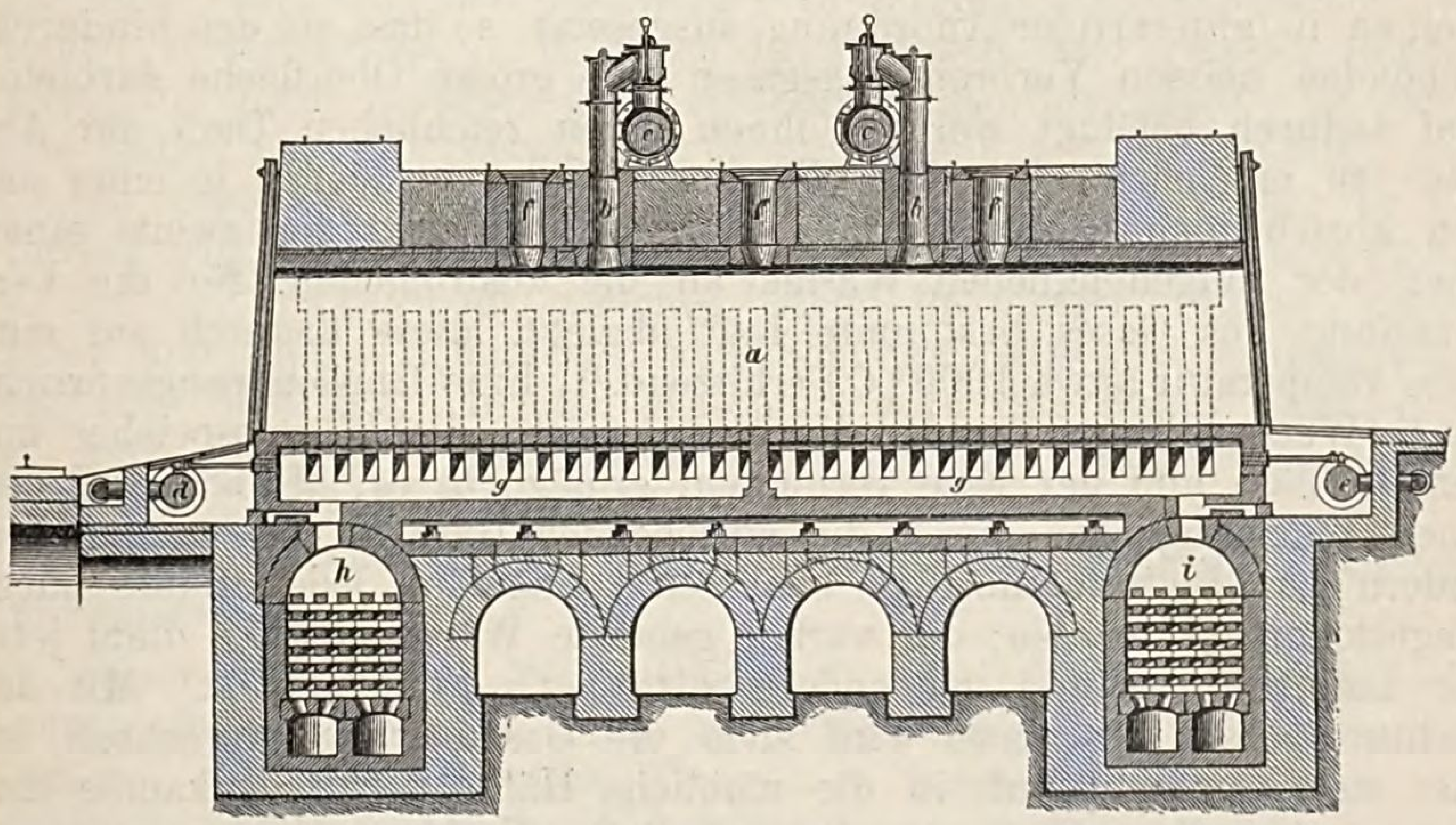
Fig. 11.



Die Einrichtung der Oefen im Einzelnen schliesst sich der Einrichtung der ohne Gewinnung der Nebenerzeugnisse betriebenen Oefen an. Sie haben fast ausnahmslos wagerechte Achse; die Zugführung für die Gase zwischen den Oefen ist theils wagerecht, theils senkrecht, doch sind die Oefen mit senkrechter Zugführung, den oben beschriebenen Coppéeöfen nachgebildet, ihrer erwähnten Vortheile halber häufiger.

Zu den am meisten verbreiteten Oefen der letzteren Art gehört der in Fig. 11 und 12 abgebildete Verkokungsofen von Hoffmann-Otto.[1]) Aus dem mit drei Füllöffnungen *f* versehenen Verkokungsraume *a* treten die Gase durch je zwei Abzugsöffnungen *bb* (Fig. 12) nebst darüber befindlichen Steigrohren in die Vorlagen *cc*, welche über die ganze Reihe der Oefen hinweggehen und deren Gase vereinigen. Durch je ein Ventil in jedem

Fig. 12.



Steigrohre (in Fig. 12 erkennbar) lässt sich die Verbindung des Ofeninnern mit der Vorlage in jedem Augenblicke unterbrechen. Aus

1) Nach „Stahl und Eisen“ 1884, Heft 7, Blatt 1 und 2. Die Einrichtung auch der später erbauten Hoffmann-Otto-Oefen hat seitdem wesentliche Aenderungen nicht mehr erfahren.

den Vorlagen werden die Gase in einer Röhrenleitung durch Absaugen vermittelst eines Exhaustors nach dem Gebäude hingeführt, in welchem ihre Abkühlung und Reinigung stattfindet, und von hier aus strömen sie zu den Oefen zurück, um, abwechselnd in bestimmten Zeiträumen, entweder von links durch das Vertheilungsrohr *d* oder von rechts durch das Vertheilungsrohr *e* (Fig. 11) in die Sohlkanäle *g* unter den Oefen geführt zu werden. Ein Hahn in jeder der kleinen Röhren, welche das erwähnte Vertheilungsrohr mit den Sohlkanälen verbinden, dient zur Regelung des Gaszuflusses. Wie Fig. 12 erkennen lässt, ist nun jeder Sohlkanal durch eine Querwand in der Mitte in zwei gleiche Hälften getheilt, so dass das Gas stets nur in eine Hälfte gelangt. Die Verbrennung des Gases wird innerhalb des Sohlkanals durch zugeführte Gebläseluft bewirkt, welche innerhalb einer der beiden Kammern *hi* in der sogleich zu erläuternden Art und Weise vorgewärmt wurde und von hier aus, wie in den Abbildungen erkennbar ist, nach den Sohlkanälen gelangt. Aus dem Sohlkanale steigen nun die in Verbrennung befindlichen Gase durch eine grosse Zahl senkrechter, ähnlich wie bei den Coppéeöfen angeordneter Züge (in Fig. 11 im Schnitte sichtbar, in Fig. 12 in Punkten gezeichnet) zwischen je zwei benachbarten Oefen empor und sammeln sich oben in dem in der ganzen Längenausdehnung des Ofens sich erstreckenden wagerechten Kanale *k* (Fig. 11). Von hier aus strömen sie durch ebenso viele senkrechte Züge abwärts in die zweite Hälfte des Sohlkanals, von wo aus sie zunächst in die darunter liegende Kammer *h* oder *i* treten, um diese zu erwärmen und schliesslich nach der Esse zu entweichen. Die Kammern *h* und *i* sind lange Kanäle, welche quer unter sämmtlichen, zu einer Gruppe gehörigen Oefen hinziehen. Sie sind mit feuerfesten Steinen in gitterartiger Anordnung ausgesetzt, so dass sie den hindurchziehenden heissen Verbrennungsgasen eine grosse Oberfläche darbieten und dadurch befähigt werden, ihnen einen reichlichen Theil der Abhitze zu entziehen. Sie sind Wärmespeicher, von denen je einer aus den abziehenden Gasen Wärme aufnimmt, während der zweite einen Theil der aufgenommenen Wärme an die zuströmende, für die Verbrennung des Gases bestimmte Luft abgiebt, diese dadurch auf eine hohe Temperatur (etwa 1000° C.) erhitzend.[1]) Eine Umsteuerungsvorrichtung (Wechselklappe) in den Kanälen, welche die Wärmespeicher mit dem Gebläse und der Esse verbinden, ermöglicht es, abwechselnd den einen Wärmespeicher durch die abziehenden Gase zu heizen und den andern zur Lufterhitzung zu benutzen. Ungefähr jede Stunde pflegt umgesteuert zu werden; der vorher geheizte Wärmespeicher dient jetzt zur Lufterhitzung und der andere wird auf's Neue geheizt. Mit der Richtung des Luftstromes wird auch die Gaszuleitung gewechselt, so dass stets Gas und Luft in die nämliche Hälfte der Bodenkanäle eintreten. Auf diese Weise werden sehr hohe Verbrennungstemperaturen erzielt, und mit verhältnissmässig geringem Gasverbrauch wird die Erhitzung der Kammern ermöglicht.

1) Die Einrichtung der Wärmespeicher und Umsteuerungsvorrichtung ist ganz die nämliche als bei den im folgenden Abschnitte (IV) ausführlicher beschriebenen Flammöfen mit Siemensfeuerung.

Neuerdings hat man gefunden, dass, zumal bei Verkokung leichter backender Kohlen, jene starke, in den Wärmespeichern erreichbare Erhitzung der Luft nicht unbedingt erforderlich und eine Vorwärmung innerhalb des Ofengemäuers ausreichend ist. Dadurch wird die Anlage einfacher und die bei den Hoffmann-Otto-Oefen erforderliche Umsteuerung des Luftstroms entbehrlich (Ofen von Dr. Otto & Co., D. R. P. 88200). Mehrere derartiger Anlagen sind bereits mit gutem Erfolge im Betriebe.

Hinsichtlich der Oefen mit wagerechten Feuerzügen (z. B. Oefen von Semet-Solvay, Hüssener-Carvès) möge auf die am Schlusse des Abschnitts gegebene Litteratur verwiesen werden.

Das Verfahren, nach welchem die Gewinnung von Theer und Ammoniak stattfindet, ist nicht überall genau gleich. In jedem Falle werden die Gase zunächst gekühlt, und zwar gewöhnlich auf die Weise, dass man sie durch Behälter leitet, in denen wassergekühlte Röhren in grosser Zahl angeordnet sind. Theer und Ammoniakwasser werden hier verdichtet. Die Trennung dieser beiden Erzeugnisse findet beim ruhigen Stehen in Bottichen auf Grund der Verschiedenheit ihrer specifischen Gewichte statt. Aus den Gaskühlern kommend durchströmen die Gase gewöhnlich zunächst den Exhaustor, welcher sie aus den Oefen absaugt und nach den Heizkanälen der Oefen zurückbefördert, und gelangen alsdann, da sie stets noch ammoniakhaltig sind, nach den Gaswaschern,[1] in welchen sie in ausgedehnteste Berührung mit Wasser gebracht werden, um an dieses den Rest ihres Ammoniakgehalts abzugeben. Die Einrichtung dieser Gaswascher ist so getroffen, dass das Gas und das zur Aufnahme des Ammoniaks bestimmte Wasser in entgegengesetzter Richtung sich begegnen und das Wasser in zahlreiche feine Strahlen oder Tropfen vertheilt wird (z. B. durch Hinabrieseln über gelochte Bleche, welche in einem Behälter über einander angeordnet sind). In jedem Falle stehen mehrere Gaswascher so mit einander in Verbindung, dass das aus dem letzten austretende Gas nur mit reinem Wasser in Berührung tritt, während umgekehrt das in den ersten Wascher eintretende Gas auf das Wasser trifft, welches bereits die übrigen Behälter durchströmt und hierbei Ammoniak aufgenommen hatte (Gegenstromgesetz, vergleiche Seite 58). In den Waschern wird den Gasen nicht allein der ganze Rest ihres Ammoniakgehalts entzogen, sondern auch noch Theer zur Ausscheidung gebracht.

Die ersten Erzeugnisse des Verfahrens sind demnach Theer und Ammoniakwasser.

Ersterer wird als Verkaufswaare in den Handel gebracht; das Ammoniakwasser benutzt man zur Darstellung von schwefelsaurem Ammon. Zu diesem Zwecke wird es in geschlossenen Gefässen verschiedener Einrichtung der Einwirkung entgegenströmenden Dampfes ausgesetzt, welcher das im freien Zustande gelöste Ammoniak austreibt; durch Zusatz von Kalkmilch zu dem abfliessenden Wasser werden

1) Die Anordnung des Exhaustors ist nicht stets dieselbe. Bei älteren Anlagen befindet er sich erst hinter den Gaswaschern; mitunter ist er auch zwischen den letzteren eingeschaltet.

alsdann die noch gelöst gewesenen Ammoniaksalze zersetzt, worauf man das hierbei frei gewordene Ammoniak ebenfalls durch Dampf austreibt. Die Ammoniakdämpfe werden nunmehr in einem mit Bleiplatten ausgeschlagenen Behälter in Berührung mit starker Schwefelsäure gebracht, welche das Ammoniak aufnimmt. Schwefelsaures Ammon scheidet sich aus der Flüssigkeit aus, wird, sobald die vorhandene Säure gesättigt ist, ausgeschöpft und auf Abtropfbühnen zum Trocknen aufgeschüttet. Durch ein besonderes Verfahren entzieht man den Gasen häufig noch ihren Benzolgehalt.[1])

Die Ausbeute an schwefelsaurem Ammon aus 100 kg trockenen Steinkohlen beträgt bei Verkokung westfälischer Kohlen etwa 1,1 kg, oberschlesische Kohlen liefern bis 1,3 kg schwefelsaures Ammon, Saarkohlen nur etwa 0,8 kg. Die Ausbeute an Theer beträgt in Westfalen etwa 2,7 kg, in Oberschlesien 4,2 kg, im Saargebiete ebenfalls 4,2 kg; Koks erfolgen in Westfalen durchschnittlich 76 kg, in Oberschlesien 68 kg, im Saargebiete 70 kg. Der Bedarf des Weltmarkts an Theer und Ammoniak ist so beträchtlich, dass auch bei Vermehrung der jetzt vorhandenen Anlagen für ihre Gewinnung vorläufig kaum eine Zuvielerzeugung zu befürchten ist.

Von den gereinigten Gasen wird bei den beschriebenen Hoffmann-Otto-Oefen sowie bei anderen zweckmässig eingerichteten Oefen nur ein Theil für die Ofenheizung verwendet, ein anderer Theil bleibt für Nebenzwecke, z. B. Dampfkesselfeuerung, verfügbar.

Die Kosten der Anlage betragen bei Gewinnung der Nebenerzeugnisse das Doppelte bis Dreifache der Anlagekosten ohne diese Gewinnung.

Arbeiten an den Verkokungsöfen.

Für den Betrieb der Verkokungsöfen ist eine Anzahl von Hülfsgeräthen erforderlich, theils zum Füllen, theils zum Entleeren bestimmt.

Zum Herbeifahren der zu verkokenden Steinkohlen und Einfüllen in den Ofen pflegt man vierseitig trichterförmige Wagen zu benutzen, deren Boden aus einem Schieber besteht. Ist der Wagen über der geöffneten Füllöffnung angelangt, so wird der Schieber geöffnet, und die Kohlen stürzen in den Ofen hinein. Mit langen Krücken wird dann die Kohlenschicht geebnet. Zur Erleichterung dieser Arbeit lässt man bisweilen die Thüren der liegenden Verkokungsöfen aus zwei Theilen bestehen, deren oberer zum Einbringen der Krücken geöffnet werden kann, während der untere geschlossen bleibt. Die Wagen laufen auf Schienen, welche auf dem Scheitel der Oefen liegen und quer über die Ofenbatterie hinwegführen. Bei der Anlage der Oefen ist demnach Vorsorge zu treffen, dass die von der Aufbereitungsanstalt oder dem Ab-

1) Die Beschreibung des Verfahrens der Gewinnung der Nebenerzeugnisse, welches dem Gebiete der Eisenhüttenkunde nicht mehr angehört, konnte hier nur in gedrängter Kürze gegeben werden. Für ausführlichere Belehrung sind folgende Schriften empfehlenswerth: G. Lunge, Die Industrie der Steinkohlentheerdestillation und Ammoniakwasserverarbeitung, Braunschweig 1882; „Stahl und Eisen" 1883, S. 403 (Hüssener), 1884, Seite 396 (Otto), 1889, Seite 482, 1892, Seite 186 (Lürmann); Journal of the Iron and Steel Institute 1884, Seite 486 (Smith); Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate, Band 1896, Seite 415 (Simmersbach).

ladeplatze der Steinkohlen kommenden Wagen ohne Schwierigkeit auf die Höhe der Ofenscheitel gelangen können.

In Gegenden, wo man gezwungen ist, schlecht backende Kohlen (Sinterkohlen) zu verarbeiten, welche, in der gewöhnlichen Weise eingeschüttet, zerfallen würden (z. B. auf manchen Werken Oberschlesiens), bildet man mitunter, um trotzdem brauchbare, grossstückige Koks zu erhalten, aus den stark zerkleinerten, mit Wasser angefeuchteten Kohlen durch Einstampfen in eine Form ein zusammenhängendes Kohlenprisma, welches durch die eine der beiden Thüren des liegenden Ofens eingeschoben wird. Die Form besteht aus einem Blechkasten, dessen innere Abmessungen denen des Verkokungsofens entsprechen; die Wände des Kastens sind zum Aufklappen eingerichtet, der Boden lässt sich in seiner Längenrichtung herausziehen. Das Ganze steht auf einem Wagen, der auf Schienen vor jeden einzelnen Ofen gefahren werden kann. Die Kohle wird schichtenweise in dem Kasten festgestampft, wobei 4 bis 5 Arbeiter in dreiviertel Stunden einen Einsatz von ungefähr $3^1/_2$ t fertig machen; nun werden die Wände des Kastens niedergeklappt und der auf einer langen Zahnstange ruhende Boden sammt dieser durch Vermittelung eines mit der Zahnstange im Eingriffe stehenden Getriebes nebst Kurbel in den Ofen geschoben. Die Bewegung der Kurbel kann durch Handarbeit geschehen, häufiger jedoch bedient man sich dazu einer auf dem Wagen befindlichen Dampfmaschine, und zwar lässt sich die sogleich zu beschreibende Maschine nebst Wagen, welche zum Auspressen der fertigen Koks dient, auch zum Einschieben des gestampften Kohlenprismas benutzen. Befindet sich das letztere vollständig im Ofen, so lässt man dessen Schiebethür bis zur Oberkante des Bodens herab, auf welchem der Kohlenkuchen steht, und zieht alsdann den Boden unter den Kohlen und der Thür hinweg nach aussen.[1])

Die Entleerung der Oefen mit senkrechter Achse (Appolt's Oefen) wird durch Oeffnen einer den untern Verschluss bildenden Klappe bewirkt, wobei die Koks in einen bereit stehenden Wagen hineinstürzen; bei allen Oefen mit wagerechter Achse dagegen durch eine Koksausdrückmaschine.

Sie besteht, wie die Abbildungen Fig. 13 und 14 erkennen lassen,[2]) aus einem gusseisernen Schilde *a* an dem den Oefen zugekehrten Ende einer langen, wagerechten, den Ofenachsen gleichlaufenden Zahnstange, welche durch Kurbel und Getriebe mit mehrfachen Uebersetzungen vorwärts in die geöffnete Kammer hinein bewegt wird, solcherart das Koksprisma vor sich her und aus dem entgegengesetzten Ende des Ofens hinausschiebend. Die ganze Vorrichtung ist auf einem eisernen, auf Schienen laufenden Wagen angeordnet, welcher bequem von einem Ofen zum andern bewegt und nach der Reihe zur Bedienung sämmtlicher Kammern benutzt werden kann.

Der Betrieb erfolgt nur ausnahmsweise von Hand durch mehrere an der Kurbel stehende Arbeiter; häufiger, wie bei der abgebildeten Maschine, durch eine eigene Dampfmaschine *b*, welche nebst dem zu-

1) Näheres über diese Einrichtung nebst Abbildungen: Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 20, Seite 181; ferner Sitzungsberichte des Vereins für Beförderung des Gewerbfleisses 1892, Seite 146.

2) Koksausdrückmaschine, von Heintzmann & Dreyer in Bochum gebaut.

gehörigen Dampfkessel *c* auf dem Wagen selbst angeordnet ist und bei einer Leistungsfähigkeit von 15 bis 20 Pferdestärken die Arbeit in weit kürzerer Zeit verrichtet (etwa zwei Minuten für Hin- und Rückgang), als es durch Menschenarbeit möglich ist. Gewöhnlich wird durch die Dampfmaschine auch die Fortbewegung des Wagens bewirkt. Bei der abgebildeten Maschine wird, sobald der Wagen von einem Ofen zum andern gefahren werden soll, die Zahnstange soweit zurückgeschoben,

Fig. 13.

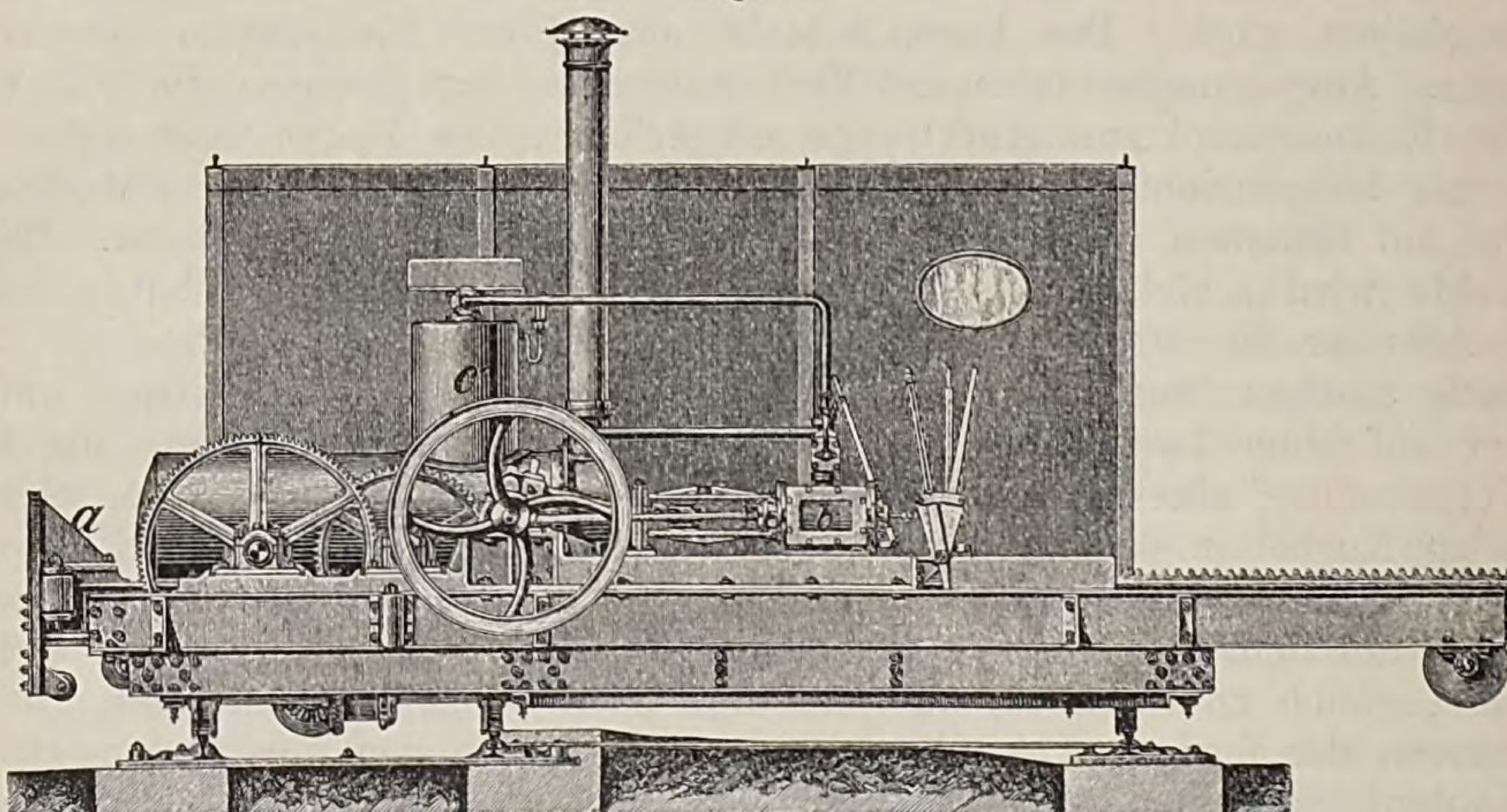
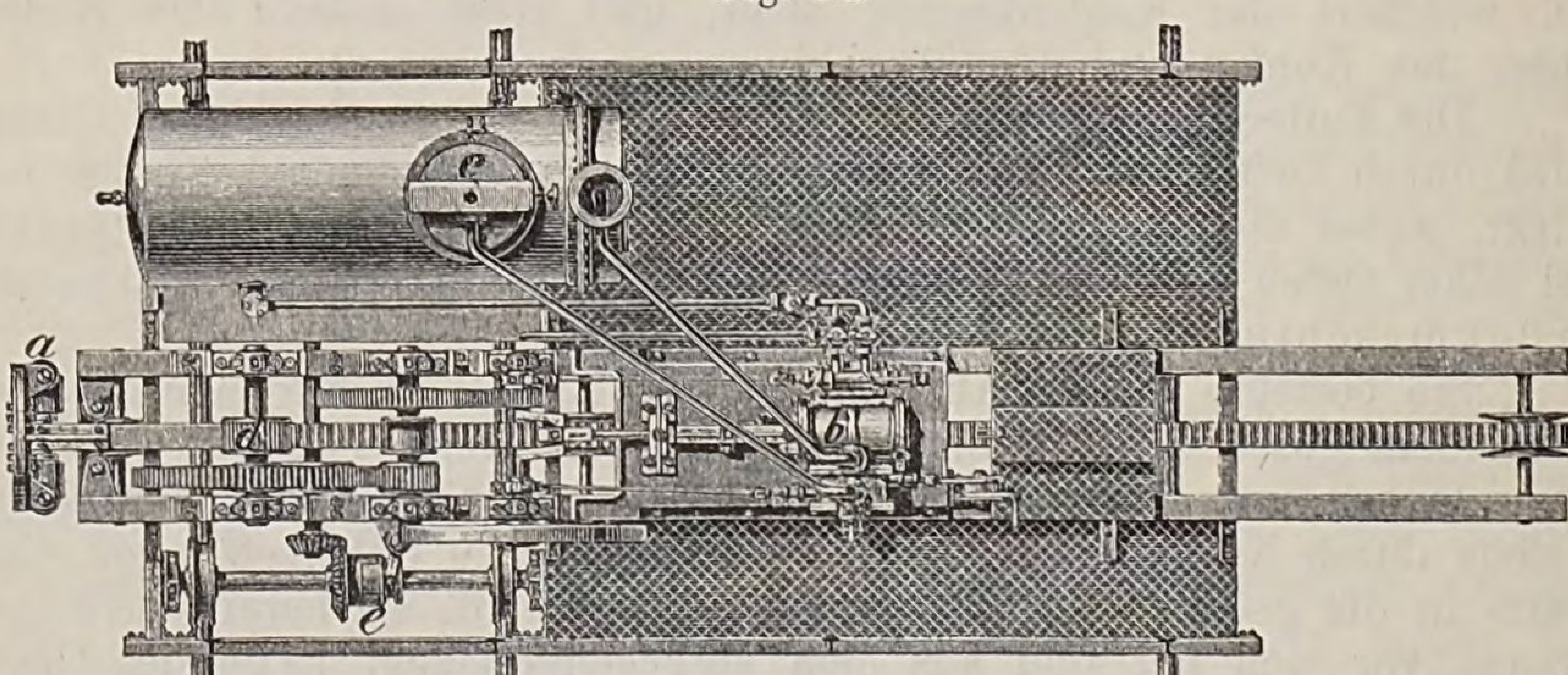


Fig. 14.



dass das für ihre Bewegung dienende Getriebe *d* (Fig. 14) ausser Eingriff kommt, und hierauf die Klauenkuppelung *e* eingerückt, so dass die Bewegung der Dampfmaschine nunmehr durch Vermittelung der beiden links neben *e* sichtbaren Winkelräder auf die wagerechte Welle übertragen wird, auf welcher die vorderen Laufräder des Wagens befestigt sind. Soll die Wagenbewegung aus- und die Bewegung des Schildes wieder eingerückt werden, so schiebt man, nachdem die Klauenkuppelung ausser Eingriff gebracht worden ist, die Zahnstange mit Hülfe einer Brechstange soweit nach links vor, dass das Getriebe *d* wieder in Eingriff kommt. Die Vor- und Rückwärtsbewegung des Schildes

und des Wagens wird bei der abgebildeten Maschine durch Umsteuerung der Dampfmaschine bewirkt.

Da die Schienen, auf denen der Wagen läuft, den ganzen Druck des Koksprismas auszuhalten haben, müssen sie in haltbarer Weise befestigt sein, und man pflegt deshalb den Wagen mit drei Räderpaaren, auf drei Schienensträngen laufend, zu versehen; damit der Wagen auch bei der äussersten Stellung des Schildes nicht sein Gleichgewicht verliere, muss er ausreichend breit sein. Die Stange, an welcher das Schild befestigt ist, gleitet auf Rollen, die im Wagen gelagert sind.

Für die Aufstellung und Bewegung der Koksausdrückmaschine muss ein entsprechend breiter Raum an derjenigen Seite der Koksofenreihe frei gehalten werden, von welcher aus das Ausdrücken erfolgen soll, und an der gegenüberliegenden Seite muss eine, von den Oefen her um einige Grade abfallende Ebene von mindestens 12 m Breite zur Aufnahme der herauskommenden Koks eingerichtet werden, welche mit guten, harten Ziegeln in Rollschichten gepflastert oder mit Eisenplatten belegt wird. Zum Ablöschen der glühenden Koks, damit sie nicht an der Luft theilweise verbrennen, werden auf dieser Ebene den Oefen gegenüber mehrere Hochdruckwasserständer mit Schlauchhähnen aufgestellt.

Für die Abfuhr der Koks benutzt man gern, wo es angeht, eine tiefer gelegene Ebene, so dass die Oberkante der für diesen Zweck bestimmten Wagen nicht höher liegt als jene Rampe, auf der die Koks lagern, und man leicht im Stande ist, die Koks in die Wagen hinein zu schaufeln. In anderen Fällen dienen Becherwerke (Paternosterwerke) oder sonstige Maschinen für die Verladung.

Eigenschaften der Koks.

Infolge der bei der Verkokung der Steinkohlen stattfindenden Formveränderungen sowie des Schwindens und Reissens des glühenden, aus dem Ofen kommenden Koksprismas pflegen die Koks in basaltartig geformten Stücken aufzutreten, welche jedoch, besonders wenn sie aus gasreicheren Kohlen gewonnen wurden, häufig mit traubenartigen Bildungen, von der Graphitablagerung bei Zersetzung von Kohlenwasserstoffen herrührend, überzogen sind. Für die Dichtigkeit der Koks ist theils die Beschaffenheit der benutzten Steinkohlen, theils die Ofentemperatur und die Einrichtung des Ofens ausschlaggebend, wie früher erläutert wurde; ebenso für die Widerstandsfähigkeit gegen das Zerdrücktwerden, welche bei den im Eisenhüttenbetriebe verwendeten Koks zwischen 40 bis 80 kg auf 1 qcm zu schwanken pflegt. Die Farbe ist lichtgrau mit Metallglanz bis mattschwarz. Nicht selten betrachtet man erstere Farbe als Merkmal einer guten Beschaffenheit, jedoch ist das Kennzeichen keineswegs zuverlässig. Die Art und Weise des Ablöschens, selbst die Beschaffenheit des dafür benutzten Wassers ist von Einfluss auf das Aussehen. Wenn das Wasser feste Körper gelöst enthält, welche auf den Koks sich ablagern, so können diese ein unscheinbares Aeussere dadurch erhalten.

Wie die Holzkohlen zeigen die Koks bei der chemischen Untersuchung einen Gehalt an flüchtigen Körpern, ohne dass man stets im Stande wäre, nachzuweisen, ob diese aus der Steinkohle zurückgeblieben

Bayerische Staatsbibliothek München

waren oder sich erst an der Oberfläche der erkalteten Koks verdichtet hatten.[1]) Geringer als in der Holzkohle ist der Feuchtigkeitsgehalt, welcher selten über 5 v. H. des Koksgewichts hinausgeht, höher der Aschengehalt, welcher 15 v. H. und darüber betragen kann. Koks mit mehr Asche als 12 v. H. pflegt man jedoch im Eisenhüttenbetriebe nicht zu verwenden.

Von Bedeutung für die Verwendbarkeit der Koks ist ferner ihr Schwefelgehalt. Alle Steinkohlen enthalten Schwefel, welcher zum Theile als Bestandtheil eingesprengter Mineralien (insbesondere von Schwefelkies und Strahlkies), zum anderen Theile als Bestandtheil der Kohlenmasse selbst (als sogenannter organischer Schwefel) auftritt. Durch die Aufbereitung der Steinkohlen lässt sich ein grosser Theil der schwefelführenden Mineralien abscheiden; eine vollständige Absonderung ist jedoch so wenig möglich, als die Entfernung aller Aschenbestandtheile. Bei der Verkokung nun entlassen die zurückgebliebenen Kiese, grösstentheils Schwefelkies und Strahlkies, welche beide nach der Formel FeS_2 zusammengesetzt sind, einen anderen Theil des ursprünglichen Schwefelgehalts, wobei sie sich in Verbindungen umwandeln, deren Zusammensetzung zwischen den Formeln Fe_8S_9 und Fe_2S_3 zu schwanken pflegt; auch von dem organischen Schwefel pflegt ein Theil, mitunter ein beträchtlicher Theil, verflüchtigt zu werden, ein anderer Theil aber in den Koks zurückzubleiben.

In jedem Falle findet demnach auch bei der Verkokung theilweise Entschwefelung der Steinkohlen statt, und diese Thatsache ist unleugbar von Wichtigkeit. Ganz schwefelfrei sind jedoch die Koks niemals; dass sie trotz jener Entschwefelung mitunter einen noch grösseren Schwefelgehalt als die Steinkohlen besitzen, aus welchen sie erzeugt werden, erklärt sich ohne Schwierigkeit, wenn man erwägt, dass aus 100 Gewichtstheilen Steinkohlen nach Maassgabe ihrer Zusammensetzung nur 65 bis höchstens 80 Hunderttheile Koks erfolgen können.[2]) Demnach beträgt der Schwefelgehalt auch der vorzüglichsten Koks selten weniger als 0,5 v. H.; die meisten gut brauchbaren Koks enthalten etwa 1 v. H. Schwefel; Koks mit mehr Schwefel als 2 v. H. sind für den Eisenhüttenbetrieb nicht mehr gut brauchbar.

Als mittlere Zusammensetzung gut brauchbarer Koks kann man demnach annehmen:

Kohlenstoff	Flüchtige Körper (ausser Feuchtigkeit)	Feuchtigkeit	Asche	Schwefel
87	2,0	2,0	8,0	1,0

1) Manche veröffentlichte Ergebnisse der Untersuchung dieser flüchtigen Körper berechtigen zu ernsten Zweifeln an ihrer Richtigkeit. Wenn z. B. einige Chemiker einen Sauerstoffgehalt von mehr als 1 v. H., mitunter bis 7 v. H. gefunden zu haben glauben, so würde doch dieser Sauerstoffgehalt in der Temperatur der Verkokungsöfen unmöglich neben dem Kohlenstoff bestanden haben können, ohne sich damit zu Kohlenoxyd zu vereinigen; dass aber der erkaltete Koks jenen beträchtlichen Sauerstoffgehalt aus der Luft verdichtet haben sollte, ist ebenso unwahrscheinlich.

2) Ueber das Verhalten des Schwefels bei der Verkokung der Steinkohlen vergleiche Dr. Muck: Die Chemie der Steinkohle, Leipzig 1891, sowie eine Abhandlung desselben Verfassers in „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 468.

Die Asche der Koks besteht in der Regel vornehmlich aus Kieselsäure, Thonerde und Eisenoxyd; daneben enthält sie alkalische Erden, Phosphorsäure, bisweilen Alkalien.

1 cbm Koks in Stücken wiegt 350 bis 450 kg.

3. Flüssige Brennstoffe.

Obgleich diese Brennstoffe seltener sind als die festen, besitzen sie doch in einigen Gegenden der Erde auch für den Eisenhüttenbetrieb eine gewisse Bedeutung.

Vornehmlich haben das Erdöl (Petroleum) und die bei dessen Läuterung entstehenden Nebenerzeugnisse in den Gegenden Wichtigkeit als Brennstoffe erlangt, wo sie im Grossen gewonnen werden (Pennsylvanien, Baku am Kaspischen Meere) oder wohin die Verfrachtung ohne bedeutende Erhöhung des Preises bewirkt werden kann. Das rohe Erdöl besteht aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen, deren durchschnittlicher Brennwerth grösser ist als derjenige der vorzüglichsten Steinkohle,[1]) welche aber sehr verschiedene Verdampfungs- und Entzündungstemperatur besitzen. Durch schrittweise Verdampfung in steigender Temperatur werden sie in verschiedene Gruppen geschieden. Bei Temperaturen unter 80° C. gehen Petroleumäther, Gasolin und andere leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe über, welche für verschiedene Zwecke Benutzung finden; bei 82 bis 150° Naphta,[2]) eine Flüssigkeit von 0,71 bis 0,74 specifischem Gewicht; bei 150 bis 300° wird das gereinigte, vornehmlich für die Beleuchtung dienende Petroleum gewonnen, und bei dessen Verflüchtigung hinterbleiben Rückstände in Form einer bei 4° C. dicken, beim Erwärmen auf etwa 40° dagegen vollständig leichtbeweglichen Flüssigkeit, welche ein specifisches Gewicht von 0,84 besitzt und bei 175° C. sich entzündet. Diese Rückstände, welche Naphtarückstände oder Rohnaphta, in Baku Masut (Massud) genannt werden, sind es vornehmlich, welche als Brennstoff im Grossen Verwendung finden, während die eigentliche Naphta mehr als Heizmaterial im Haushalte, ausserdem als Reinigungsmittel (Fleckwasser) und für sonstige Zwecke benutzt wird.

Diese Rückstände entwickeln bei ihrer Verbrennung eine sehr bedeutende Wärme, ermöglichen ohne Schwierigkeit die Erzielung einer rauchlosen Verbrennung, hinterlassen keine Asche, und die damit geheizten Feuerungen erfordern wenig Bedienung. Sie bilden demnach einen in mehrfacher Hinsicht werthvollen Brennstoff. Man nimmt an, dass ihre Verwendung noch lohnend sei, wenn ihr Preis an der Verbrauchsstätte den 2,6 fachen Preis der gleichen Gewichtsmenge Steinkohlen nicht übersteigt.[3]) Die Einrichtung der Feuerungen ist verschieden. Häufig bedient man sich eines Dampfstrahls, um die durch

1) H. Deville fand die Wärmeleistung verschiedener Erdölsorten im rohen Zustande schwankend zwischen 9590 bis 10831 W.-E. (Comptes rendus vol. 66, p. 442; vol. 68 p. 349, 485, 686).

2) Der Ausdruck umfasst wieder ein Gemisch verschieden zusammengesetzter Körper, welche sich trennen lassen, wenn man die Verflüchtigung in noch mehr Absätzen ausführt. Näheres hierüber findet der Leser in den Handbüchern der chemischen Technologie.

3) „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 917.

ein Rohr zutretende Flüssigkeit zu zerstäuben und durch eine entsprechend geformte Düse (in Baku Forsunka genannt) in den Verbrennungsraum einzuführen.[1]) Die hier zutretende Verbrennungsluft wird in der Regel in Kanälen des umgebenden Mauerwerks vorgewärmt. Diese Einrichtung, so einfach sie auch ist, hat doch den Nachtheil, dass der verbrauchte Wasserdampf ebenfalls Wärme aufnimmt und aus dem Ofen entführt, hierdurch die Verbrennungstemperatur erniedrigend und die Wärmeausnutzung schmälernd. Wenn sie für Heizung von Dampfkesseln und andere Verwendungen, wobei hohe Temperaturen nicht erforderlich sind, als ausreichend befunden worden ist, erwies sie sich doch als weniger zweckmässig, wenn der Brennstoff zur Heizung von Oefen des Eisenhüttenbetriebes dienen sollte. Auf südrussischen Werken, wo die aus Baku kommenden Naphtarückstände bereits in ziemlich bedeutenden Mengen für jene Zwecke verwendet werden, zieht man es vor, sie durch Erhitzung zu verdampfen und die Dämpfe, ohne Vermischung mit Wasserdämpfen, in den Ofen einzuführen. Man bedient sich dazu zweier mit feuerfesten Ziegeln gitterförmig ausgesetzten Kammern (Wärmespeicher), den Wärmespeichern *hi* des in Fig. 12 auf Seite 91 abgebildeten Verkokungsofens gleich, deren eine durch die abziehenden Gase des Ofens geheizt wird, während die zweite, zuvor geheizte, zur Verdampfung des durch ein Rohr einfliessenden Brennstoffs benutzt wird. Wenn letztere Kammer nach einiger Zeit allzu sehr abgekühlt ist, um noch ferner für die Verdampfung benutzbar zu sein, wird umgesteuert, die zuvor geheizte Kammer dient jetzt zur Verdampfung, und die andere wird aufs neue geheizt.[2])

Bisweilen, aber im Ganzen doch selten, dient auch Theer als Heizmaterial im Eisenhüttenbetriebe, sofern er als unverwerthbares Nebenerzeugniss bei anderen Verfahren erfolgt. Seine Wärmeleistung ist erheblich; guter Steinkohlentheer entwickelt 8500 bis 9000 W.-E.; da dieser aber fast stets lohnendere Verwendung für andere Zwecke finden kann, benutzt man häufiger den minderwerthigeren Braunkohlentheer, welcher z. B. bei der unten besprochenen Luftgaserzeugung aus Braunkohlen bisweilen als Nebenerzeugniss erfolgt. Die Verbrennung kann in gleicher oder ähnlicher Weise wie die der Naphtarückstände bewerkstelligt werden; Braunkohlentheer pflegt man nur in Oefen, welche ohnehin mit anderen, festen oder gasförmigen, Brennstoffen geheizt werden, neben diesen zu verwenden.[3])

4. Gasförmige Brennstoffe und ihre Gewinnung.

a) Allgemeines.

Die Benutzung gasförmiger Brennstoffe für Zwecke des Haushalts oder der Gewerbe in Fällen, wo die Erde ohne Weiteres solche Brennstoffe lieferte, ist schon sehr alt. In China sollen brennbare, dem

1) Einiges Nähere hierüber: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, Seite 46; „Stahl und Eisen" 1895, Seite 738; F. Fischer, Handbuch der chemischen Technologie (Leipzig 1893), Seite 133.

2) Abbildung einer solchen Einrichtung: „Stahl und Eisen" 1896, Seite 916.

3) Beispiel einer solchen Feuerung: „Stahl und Eisen" 1895, Seite 9.

Schoosse der Erde entströmende Gase schon vor mehreren tausend Jahren zum Salzsieden benutzt worden sein.[1]) Auch die aus der Gicht der Eisenhochöfen hervorschlagende Flamme, durch verbrennendes Kohlenoxydgas gebildet, welches im Innern des Hochofens als Erzeugniss einer unvollständigen Verbrennung des Kohlenstoffs entstand, wurde seit Jahrhunderten zum Trocknen von Gussformen, die rings herum aufgestellt wurden, und vermuthlich auch für andere Nebenzwecke benutzt; aber die absichtliche Erzeugung gasförmiger Brennstoffe aus festen ist erst eine Erfindung des neunzehnten Jahrhunderts. Die Anregung dazu gab die von Faber du Faur im Jahre 1837 gemachte, in der zweiten Abtheilung dieses Buches ausführlicher besprochene Erfindung, die Gase des Eisenhochofens, welche bis dahin als Flamme aus der Gicht ausgetreten waren, im unverbrannten Zustande aufzufangen, in Röhren fortzuleiten und an einem beliebigen andern Orte zur Erzeugung von Wärme zu verbrennen. Man erkannte hierbei die Vortheile, welche die Benutzung gasförmiger Brennstoffe zu gewähren vermag, und ging nunmehr alsbald dazu über, sie künstlich zu erzeugen. Seit jener Zeit haben die gasförmigen Brennstoffe eine von Jahrzehnt zu Jahrzehnt wachsende Bedeutung für die gesammte Gewerbthätigkeit und ganz besonders auch für das Eisenhüttengewerbe erlangt.

Dass die Verwendung brennbarer Gase, welche bereits fertig von der Natur geliefert werden oder welche unvermeidlicher Weise als Nebenerzeugnisse anderer Verfahren entstehen, z. B. der schon erwähnten Hochofengase, wirthschaftlich vortheilhaft sein kann, bedarf keines Beweises. Weniger einfach gestaltet sich die Beantwortung der Frage, weshalb die zuvorige Umwandlung fester Brennstoffe in gasförmige in zahlreichen Fällen sich vortheilhafter erweist, als ihre unmittelbare Verbrennung.

Zunächst kommt hier in Betracht, dass die Regelung der zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung erforderlichen Luftmenge leichter bei Benutzung gasförmiger als fester Brennstoffe zu bewirken ist. Man denke sich z. B. eine Schüttung von festen Brennstoffen — Steinkohlen, Braunkohlen oder anderer — auf einem Roste verbrennend. Die Verbrennungsluft muss zwischen den einzelnen Stücken des Brennstoffs hindurch ihren Weg nehmen; ihre Menge hängt unter übrigens gleichen Verhältnissen von den Widerständen ab, welche sie hier findet. Diese Widerstände wachsen mit der Höhe der Schüttung; sie sind unmittelbar nach dem Aufschütten grösser, als wenn bereits ein Theil des Brennstoffs verzehrt wurde; demgemäss ändert sich auch die Menge der zutretenden Luft. Um trotzdem eine thunlichst vollständige Verbrennung zu erzielen, richtet man die Zugverhältnisse der Heizvorrichtung so ein, dass in allen Zeitabschnitten der Verbrennung eine genügende Luftmenge Zutritt findet; die Folge davon ist der Verbrauch eines sehr grossen Ueberschusses an Luft. Die Analysen der sogenannten Rauchgase lehren uns, dass in derartigen Feuerungen eine vollständige Verbrennung nur mit der doppelten Luftmenge, als theoretisch erforderlich sein würde, erzielt wird, und nicht selten ist das Ver-

1) Abbildung einer mit Gas geheizten chinesischen Siedepfanne aus dem 17. Jahrhundert: Ledebur, Die Gasfeuerungen, Seite 2.

hältniss noch grösser.[1]) Jeder Luftüberschuss aber erniedrigt nach Früherm die Verbrennungstemperatur, wodurch die Wärmeabgabe an den zu erhitzenden Körper erschwert wird (Seite 55), und erhöht die Wärmeverluste durch Vermehrung der aus dem Ofen abziehenden Gasmenge, welche Wärme davon führt. Er wirkt also in mehrfacher Beziehung nachtheilig. Ist der Brennstoff gasförmig und wird mit der zutretenden Luft gemischt, so fallen jene geschilderten, bei der Verbrennung auf dem Roste unvermeidlichen Unregelmässigkeiten des Luftzutritts weg, und man kann mit geringerm Luftüberschusse eine vollständige Verbrennung erzielen.

Gas und Luft aber lassen sich leicht mit einander mischen, wodurch ebenfalls die Verbrennung bei verhältnissmässig geringem Luftüberschusse befördert wird.

Endlich aber besitzt man bei Gasfeuerungen in der Vorwärmung von Gas und Luft ein erfolgreiches Mittel, die Verbrennungstemperatur in starkem Maasse zu steigern, wodurch wiederum die Wärmeabgabe erleichtert und die Ausnutzung des Brennstoffs begünstigt wird. Bei Verbrennung fester Brennstoffe auf dem Roste würde jene Vorwärmung, insbesondere die Vorwärmung der Luft — die in der That öfters versucht worden ist — zwecklos sein. Die chemische Thätigkeit des Sauerstoffs der Luft wird zwar durch die Erwärmung gesteigert; die nächste Folge aber davon ist, dass von den auf dem Roste lagernden Kohlen eine grössere Menge als zuvor durch die gleiche Menge Sauerstoff verbrannt wird, d. h. dass mehr Kohlenoxydgas als zuvor entsteht. Die Verbrennung wird unvollständiger.

Die Vortheile der Gasfeuerungen im Vergleiche zu der Verbrennung auf dem Roste beruhen also auf der Möglichkeit, leichter und mit geringerem Luftüberschusse eine vollständige Verbrennung und zugleich eine hohe Verbrennungstemperatur zu erzielen. Beide Umstände aber begünstigen die Ausnutzung des Brennstoffs.

Noch ehe man über die Ursachen ganz im Klaren war, hatte man diesen Erfolg durch die Erfahrung erkannt. Brennstoffe, welche bei der Verbrennung auf dem Roste sich wegen zu niedriger Verbrennungstemperatur als nicht benutzbar für dieses oder jenes Verfahren erwiesen, liessen sich für das gleiche Verfahren mit Vortheil verwenden, nachdem man sie in Brenngas umgewandelt und die Verbrennungsluft entsprechend vorgewärmt hatte. Gerade diese Beobachtung verschaffte den Gasfeuerungen in den ersten Jahrzehnten nach ihrer Einführung eine rasche Verbreitung. Dass aber die Benutzbarkeit eines aus wasserreichen Brennstoffen dargestellten und deshalb selbst wasserreichen Brenngases für Erzielung hoher Temperaturen sich erheblich steigern lässt, wenn man ihm durch Abkühlung seinen Wassergehalt entzieht, und dass man hierdurch befähigt ist, selbst die minderwerthigsten Brennstoffe in Brenngas von verhältnissmässig grossem Heizwerthe zu verwandeln, möge hier nur kurz angedeutet werden.

1) Analysen von Rauchgäsen: Dingler's polyt. Journal, Band 219, Seite 281, Band 232, Seite 337; F. Fischer, Feuerungsanlagen für häusliche und gewerbliche Zwecke, Karlsruhe 1889, Seite 19; Hanns von Jüptner, Heizversuche von Kesselfeuerungen, Leipzig 1894 (Sonderabdruck aus der Oesterreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1894).

b) Natürlich vorkommendes Gas (Erdgas).

Obschon an verschiedenen Stellen der Erde brennbare Gase zu Tage treten (Baku, Grenoble und anderwärts), hat doch nur ein einziges dieser Vorkommnisse, das Naturgas Nordamerikas, eine grössere gewerbliche Bedeutung erlangt. Im Staate New York, wie in Virginien tritt Erdgas auf; vornehmlich reich an diesem Brennstoffe aber ist die Umgegend von Pittsburg in Pennsylvanien, und hier findet es eine ausgedehnte Verwendung für die mannigfachsten Zwecke, insbesondere auch für die Heizung von Flammöfen im Eisenhüttenbetriebe. Man entdeckte das Gas beim Bohren auf Erdöl. Ein Gasstrom von ungeheurer Spannung entströmte dem Bohrloche, und anfänglich liess man das Gas ungenutzt unter Entwickelung einer mächtigen Flammensäule entweichen; erst später legte man Röhrenleitungen an, um das Gas im unverbrannten Zustande abzufangen und fortzuleiten. Die erste Anwendung des Naturgases für die Zwecke des Eisenhüttenbetriebes fand 1873 zu Leechburg statt; die erste grössere Röhrenleitung (nach Etna) wurde 1875 gelegt. Nach Pittsburg wurde die erste Leitung 1883 gelegt, und seit dieser Zeit bedient man sich in Pennsylvanien und einigen anderen Staaten (Indiana, Ohio) des aus verschiedenen Bohrlöchern gewonnenen Gases in umfangreichem Maasse für mannigfache Zwecke. Die grösste der erbohrten Gasquellen soll zeitweise täglich mehr als 800 000 cbm Gas geliefert haben, mehrere andere 400 000 cbm. Allmählich werden jedoch die Bohrlöcher erschöpft, und seit dem Jahre 1888 ist der Verbrauch stetig gesunken.

Seine Bedeutung verdankt dieses Gas neben seinem massenhaften Vorkommen auch seiner günstigen chemischen Zusammensetzung. Zwar schwankt diese Zusammensetzung bei verschiedenen Quellen und bei derselben Quelle auch zu verschiedenen Zeiten; in jedem Falle aber enthält das Gas reichliche Mengen von Methan (60—80 Raumtheile) und Wasserstoff (5—20 Raumtheile), also Körper mit hoher Wärmeleistung, neben nur kleinen Mengen nicht brennbarer Bestandtheile (Stickstoff). Als mittlere Zusammensetzung kann man folgende annehmen:

Wasserstoff	20 Raumtheile	2,7 Gewichtstheile
Methan	70 „	77,8 „
Sonstige Kohlenwasserstoffe	6 „	11,6 „
Kohlensäure	1 „	2,0 „
Stickstoff	3 „	5,9 „
	100 Raumtheile	100,0 Gewichstheile

1 cbm dieses Gases wiegt bei Null Grad Temperatur und 760 mm Atmosphärendruck 0,643 kg; die Wärmeentwickelung beträgt für 1 cbm 9300 W.-E., für 1 kg 14 500 W.-E., ist also sehr beträchtlich, und dieser starken Wärmeentwickelung entspricht eine hohe Verbrennungstemperatur, wie sich leicht mit Hülfe der auf Seite 55 mitgetheilten Formel ermitteln lässt.

Ueber die Gewinnung und Verwendung des Gases geben die unter Litteratur aufgeführten Abhandlungen nähere Ausweise.

c) Brenngase als Nebenerzeugnisse anderer Verfahren.

Die aus manchen Oefen des Eisenhüttenbetriebes, z. B. den Puddelöfen, Schweissöfen, im noch heissen Zustande austretenden Verbrennungs-

gase lassen sich zwar nicht selten zum Heizen einer zweiten Vorrichtung, z. B. eines Dampfkessels, benutzen, aber den Namen Brennstoffe verdienen sie nicht, da sie brennbare Bestandtheile nicht mehr oder nur noch in sehr geringen Mengen enthalten.[1]) Sie wirken nicht durch Wärmeentwickelung nutzenbringend, sondern lediglich durch Abgabe eines Theils der von ihnen bei der schon stattgehabten Verbrennung aufgenommenen Wärme. Man pflegt deshalb ganz richtig in diesen Fällen nicht von Gasfeuerungen, sondern von der Heizung durch die **Abhitze** anderer Oefen zu reden.

Brennbare Gase, die sich durch Verbrennung zur Wärmeentwickelung benutzen lassen, also Brennstoffe im wirklichen Sinne, werden im Eisenhüttenbetriebe als Nebenerzeugnisse beim Hochofenbetriebe und bei den Verkokungsöfen gewonnen.

Die **Hochofengichtgase** enthalten als wichtigsten brennbaren Bestandtheil Kohlenoxyd, daneben stets kleine Mengen von Wasserstoff und Methan. Diese nutzbaren Bestandtheile sind jedoch stets durch reichliche Mengen Stickstoff und Kohlensäure verdünnt. Die Zusammensetzung im Einzelnen hängt von den besonderen Betriebsverhältnissen ab; als durchschnittliche Zusammensetzung der trockenen Gase lässt sich annehmen:

Kohlenoxyd . .	24	Raumtheile	24	Gewichtstheile
Kohlensäure . .	12	„	17	„
Stickstoff . . .	60	„	58	„
Wasserstoff . .	2	„	0,2	„
Methan	2	„	0,8	„

Bei verschiedenen Hochöfen schwankt der Kohlenoxydgehalt zwischen 20 bis 32 Raumtheilen oder 22 bis 30 Gewichtstheilen in 100 Theilen des trockenen Gasgemenges.

1 cbm Gichtgase von der obigen mittleren Zusammensetzung wiegt bei Null Grad Temperatur und 760 mm Barometerstand 1,3 kg, und 1 kg entwickelt bei der Verbrennung 730 W.-E. Ausser den genannten Bestandtheilen findet sich jedoch stets Wasserdampf in den Gichtgasen, dessen Menge von der chemischen Zusammensetzung und dem Feuchtigkeitsgehalte der Beschickung der Hochöfen abhängt und in einzelnen Fällen recht erheblich ist. Im Mittel kann man dafür $^1/_{10}$ des Rauminhalts oder $^1/_{15}$ des Gewichts der übrigen Bestandtheile annehmen.[2]) Die Art und Weise der Entziehung, Fortleitung und Reinigung der Gichtgase findet in der zweiten Abtheilung dieses Buches ausführlichere Besprechung.

Weit reicher an brennbaren Bestandtheilen sind die **Gase der Verkokungsöfen**, aus der Zersetzung der Steinkohlen ohne Luftzutritt entstanden und daher frei von dem grossen Stickstoff- und Kohlensäuregehalte, welcher den Brennwerth der Hochofengichtgase abmindert. Ihre Zusammensetzung ist der des Leuchtgases ähnlich; wie dieses ent-

1) Ebelmen fand in den Gasen der Puddel- und Schweissöfen 12,5 bis 7,3 Raumtheile Kohlensäure, 0,2 bis 7,5 Raumtheile Kohlenoxyd, 78,5 bis 82,0 Raumtheile Stickstoff, 0,2 bis 4,8 Raumtheile freien Sauerstoff, 0,0 bis 3,0 Raumtheile Wasserstoff (Annales des mines, série 4, tome 5, p. 69).

2) „Stahl und Eisen" 1898, S. 258 (Lürmann).

halten sie vorwiegend Methan und Wasserstoff, daneben kleinere Mengen kohlenstoffreicherer Kohlenwasserstoffe, Kohlenoxyd, Stickstoff, Kohlensäure. Die Zusammensetzung der Kohlen, aus welchen sie entstanden, sowie die Eigenthümlichkeiten des angewendeten Verkokungsverfahrens sind auch für die Zusammensetzung der Gase von Einfluss. Folgende zwei Beispiele mögen diese Zusammensetzung veranschaulichen:[1])

	Raumtheile	
Wasserstoff	53,32	58,37
Methan	36,11	27,36
Aethylen (C_2H_4)	1,63	2,33
Benzin	0,61	
Kohlenoxyd	6,49	4,46
Kohlensäure	1,41	0,90
Schwefelwasserstoff	0,43	0,40
Stickstoff	0,00	5,74

Von dem amerikanischen Naturgase unterscheiden sich diese Gase demnach vorzugsweise durch ihren geringeren Methan- und grösseren Wasserstoffgehalt.

Bei den Verkokungsöfen ohne Gewinnung der Nebenerzeugnisse verbrennt man, wie oben beschrieben worden ist, die Gase sofort in den Zügen der Oefen durch zugeleitete Luft, wobei dann gewöhnlich eine reichliche Abhitze zum Heizen von Dampfkesseln verfügbar bleibt; bei den Oefen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse kann man, wie ebenfalls schon mitgetheilt wurde, die gemeinschaftlich gesammelten und ihres Theer- und Ammoniakgehalts beraubten Gase theilen, um einen Theil für die Heizung der Verkokungsöfen, einen anderen Theil für sonstige Zwecke, insbesondere Dampfkesselfeuerung, zu verwenden.

d) Das Luftgas und seine Darstellung.

Allgemeines. Chemische Vorgänge.

Luftgas[2]) ist ein durch unvollständige Verbrennung (Seite 41) fester Brennstoffe gewonnenes Gas. Seiner Entstehungsweise gemäss enthält es als brennbaren Bestandtheil vornehmlich Kohlenoxyd, neben diesem aber den gesammten Stickstoffgehalt der für jene unvollständige Verbrennung erforderlichen Luft. Benutzt man für die Darstellung verkohlte Brennstoffe, so würde unter der Voraussetzung, dass diese gar keine flüchtigen Körper mehr enthielten, bei der Vergasung jede Bildung von Kohlensäure ausgeschlossen und die verbrauchte Luft vollständig trocken wäre, das Gas enthalten:

Kohlenoxyd	34,3	Gewichtstheile	34,3	Raumtheile
Stickstoff	65,7	„	65,7	„

1 cbm dieses Gases würde bei Null Grad Temperatur und 760 mm Barometerstand 1,251 kg wiegen; 1 kg würde bei der Verbrennung 824 W.-E. entwickeln.

1) „Stahl und Eisen" 1884, S. 399; 1894, S. 256.

2) Häufig nennt man dieses Gas auch Generatorgas. Die Bezeichnung ist offenbar nichtssagend; jedes künstlich erzeugte Gas kann so genannt werden.

Jene Vorbedingungen für die Bildung eines in den angegebenen Verhältnissen zusammengesetzten Gases werden jedoch niemals vollständig erfüllt. Alle verkohlten Brennstoffe enthalten, wie schon bei ihrer Besprechung erwähnt wurde, noch gewisse Mengen von Wasserstoff und Stickstoff; die für die Erzeugung des Luftgases erforderliche Luft enthält Feuchtigkeit, welche bei der Berührung mit glühenden Kohlen ganz oder theilweise unter Bildung von Kohlenoxyd und Wasserstoff ($H_2O + C = 2H + CO$) zerlegt wird, und die Bildung gewisser, wenn auch geringer, Mengen von Kohlensäure neben Kohlenoxyd ist nur selten zu vermeiden. Daher zeigt das in Wirklichkeit erfolgende Gas stets gewisse Abweichungen von der oben mitgetheilten Zusammensetzung. Als Mittelwerthe älterer über die Zusammensetzung dieses Gases angestellter Untersuchungen[1]) ergeben sich:

	Aus Holzkohlen dargestellt		Aus Koks dargestellt	
Kohlenoxyd .	34,1 Gewichtsth.	33,3 Raumth.	33,8 Gewichtsth.	33,6 Raumth.
Stickstoff . .	64,9 "	63,4 "	64,8 "	64,2 "
Kohlensäure .	0,8 "	0,5 "	1,3 "	0,7 "
Wasserstoff .	0,2 "	2,8 "	0,1 "	1,5 "

Unter ungünstigen Verhältnissen kann der Kohlensäuregehalt jedoch erheblich über den angegebenen Mittelwerth hinausgehen, und mit dem Kohlensäuregehalte wächst der Stickstoffgehalt des Gasgemenges, da zur Kohlensäurebildung die doppelte Luftmenge als zur Kohlenoxydgasbildung erforderlich ist. Der Kohlenoxydgehalt der Gase wird demnach in doppelter Beziehung geschmälert.[2])

Zwei Umstände sind es vornehmlich, welche bei den hier in Betracht kommenden Fällen den Kohlensäuregehalt des erfolgenden Gases bedingen: die Temperatur in dem Gaserzeuger, d. h. in dem Raume, in welchem die unvollständige Verbrennung stattfindet, und die Dichtigkeit der Brennstoffe. Je höher die Temperatur ist, desto reichlichere Mengen Kohlenstoff werden durch die gleiche Menge Sauerstoff verbrannt, desto vollständiger wird die bei der ersten Berührung zwischen Brennstoff und Luft etwa entstehende Kohlensäure in Kohlenoxyd umgewandelt (Seite 45), desto kohlensäureärmer ist das erfolgende Gas. Voraussetzung hierbei ist, dass ein genügender Ueberschuss von Kohlenstoff vorhanden ist, oder mit anderen Worten, dass die zutretende Luft eine genügend hohe Schüttung von Brennstoff findet, um überhaupt Kohlenoxyd zu bilden. Je weniger Oberfläche aber der Brennstoff der zutretenden Luft darbietet, je dichter er ist, desto reichlicher entsteht Kohlensäure (Seite 43). Die oben mitgetheilten Mittelwerthe von Gasanalysen lassen diesen Einfluss erkennen: das Holzkohlengas ist etwas, wenn auch nicht erheblich, reicher an Kohlenoxyd und ärmer an Kohlensäure als das Koksgas. Die Vergasung der Brennstoffe ist in den hier untersuchten Fällen jedenfalls in sehr hoher Temperatur durchgeführt

1) Annales des mines, série 4, tome 3, p. 215; tome 5, p. 81 (Ebelmen).

2) Eine grosse Zahl von Untersuchungen von Gasen, welche aus Koks dargestellt wurden, enthalten die Arbeiten Buntes im Journal für Gasbeleuchtung 1878 und 1879: Commissionsarbeiten, betreffend die Versuche über die Leistungsfähigkeit der Koksgeneratoren. Bunte fand 1,9 bis 5,8 Raumtheile Kohlensäure neben 28,3 bis 22,6 Raumtheilen Kohlenoxyd.

worden; ein deutlicherer Unterschied in der Zusammensetzung würde bei der Vergasung in weniger hoher Temperatur sich ergeben haben.

Solcher verkohlten Brennstoffe bedient man sich jedoch nur in Ausnahmefällen zur Luftgasbereitung, d. h. da, wo sie als Nebenerzeugnisse bei anderen Verfahren entstehen (z. B. in Leuchtgasfabriken). In der Regel dienen rohe feste Brennstoffe — Holz, Torf, Braunkohlen, Steinkohlen — dem in Rede stehenden Zwecke. Nicht allein würden durch die der Vergasung vorausgehende Verkohlung unnöthigerweise die Kosten des zu vergasenden Brennstoffs erhöht werden, sondern diese Verkohlung würde thatsächlich eine Vergeudung des Brennwerths bedeuten. Alle jene bei der Zersetzung der rohen Brennstoffe entweichenden brennbaren Körper — Wasserstoff, Kohlenwasserstoff, Kohlenoxyd — mischen sich bei der Benutzung dieser Brennstoffe zur Gaserzeugung mit den Erzeugnissen der unvollständigen Verbrennung des Kohlenstoffs, den Heizwerth des Gases erhöhend, den Stickstoffgehalt abmindernd. Das Gas ist demnach durchschnittlich werthvoller als das aus verkohlten Brennstoffen gewonnene, und der für die Zerlegung der rohen Brennstoffe erforderliche Wärmeverbrauch wird reichlich durch die Wärme gedeckt, welche der Kohlenstoff bei seiner gleichzeitigen Verbrennung zu Kohlenoxyd entwickelt.

Die Zusammensetzung des aus solchen rohen Brennstoffen erfolgenden Luftgases ist nicht allein, wie bei Vergasung verkohlter Brennstoffe, von der im Gaserzeuger herrschenden Temperatur und der äusseren Beschaffenheit der Brennstoffe, sondern auch von deren chemischen Zusammensetzung, insbesondere ihrem Gehalte an flüchtigen Körpern abhängig. Sie schwankt deshalb innerhalb noch weiterer Grenzen als in jenem Falle. Als durchschnittliche Zusammensetzung des trockenen Gases kann man etwa annehmen:

Kohlenoxyd	29,0	Gewichtstheile	27,1	Raumtheile
Kohlenwasserstoff (CH_4)	2,6	„	4,1	„
Wasserstoff	0,6	„	7,6	„
Kohlensäure	6,4	„	3,8	„
Stickstoff	61,4	„	57,4	„

In besonders günstigen Fällen kann der Kohlensäuregehalt dieses Gases bis auf weniger als 0,5 Raumtheile sinken, in ungünstigen Fällen auf mehr als 8 Raumtheile steigen.[1])

1 cbm Gas von der oben angegebenen Zusammensetzung wiegt bei Null Grad Temperatur und 760 mm Barometerstand 1,17 kg und ist demnach leichter als die atmosphärische Luft (1,29 kg); 1 kg entwickelt bei der Verbrennung 1180 W.-E.

Bei der Bildung dieses Luftgases sind zwei abweichende Vorgänge zu unterscheiden: die Entgasung der Brennstoffe, d. h. ihre Zerlegung in entweichende flüchtige Körper und zurückbleibenden Kohlenstoff, und die Vergasung, d. h. die Verbrennung dieses Kohlenstoffs zu Kohlen-

1) Beispiele der Zusammensetzung des Luftgases: A. Naumann, Technisch-thermochemische Berechnungen, Seite 38; R. Åkerman, Beitrag zur Entwickelung der Frage der Heizgasgewinnung (Jahrbuch der österr. Bergakademien 1892), Tabelle 9; A. Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 42 (sämmtliche Schriften sind unter den Litteraturnachweisen am Schlusse dieses Abschnitts noch besonders aufgeführt).

oxyd. Dass ein Theil der bei letzterem Vorgange frei werdenden Wärme die Aufgabe zu erfüllen habe, die Entgasung zu bewirken, wurde schon erwähnt.

Der Verlauf der Vergasung und die Zusammensetzung der Erzeugnisse hierbei unterliegt den nämlichen Einflüssen wie bei der Vergasung verkohlter Brennstoffe. Aber auch der Verlauf der Entgasung ist nicht immer gleich; die herrschende Temperatur spielt hierbei eine nicht minder wichtige Rolle als bei der Vergasung. In niedriger Temperatur erfolgen reichlichere Mengen von Theer, also eines in diesem Falle unerwünschten Nebenerzeugnisses; in höherer Temperatur ist die Ausbeute an Brenngas beträchtlicher. Welche bedeutenden Unterschiede in der Zusammensetzung des unter übrigens gleichen Verhältnissen und aus den nämlichen Brennstoffen, aber in verschiedener Temperatur erzeugten Luftgases obwalten können, zeigen die nachstehenden, von Stöckmann[1]) veröffentlichten Analysen:

	Heisser Gang	Kalter Gang
Stickstoff	66,86 Gewichtsth.	68,42 Gewichtsth.
Kohlensäure	7,41 „	12,14 „
Kohlenoxyd	21,73 „	16,56 „
Wasserstoff	0,47 „	0,27 „
Schwerer Kohlenwasserstoff (Aethylen)	2,95 „	1,32 „
Leichter Kohlenwasserstoff (Methan) .	0,58 „	1,29 „

Die aus 1 kg festen Brennstoffs erzeugte Gasmenge entwickelt in den hier aufgeführten Beispielen bei heissem Gange die 1,2fache Wärme als bei kaltem Gange.[2])

Hohe Temperatur im Gaserzeuger ist bei der Darstellung des Luftgases demnach eine der wichtigsten Bedingungen für eine vortheilhafte Verwerthung der zur Gasbereitung bestimmten Brennstoffe.

Auch der Feuchtigkeitsgehalt der atmosphärischen Luft bleibt nicht ohne Einfluss auf den Verlauf der Vergasung und die Zusammensetzung des erfolgenden Gases.

Dieser Feuchtigkeitsgehalt hängt zunächst ab von dem Klima und der herrschenden Witterung. Nicht selten lässt man jedoch die zum Betriebe der Luftgaserzeuger bestimmte Luft über einen unter dem Roste befindlichen Wassertümpel strömen (welcher zugleich zum Ablöschen der durch den Rost fallenden Kohlen dient), damit sie mit Wasserdampf sich sättige, weil man die Beobachtung gemacht hat, dass die Roststäbe auf diese Weise mehr geschont werden; oder man führt sie mit Hülfe eines Dampfstrahlgebläses, also ebenfalls im feuchtigkeitsgesättigten Zustande, zu. Diese mitgebrachte Feuchtigkeit wird, wie schon erwähnt, unter Bildung von Wasserstoff und Kohlenoxyd zerlegt, wenn sie auf die glühenden Kohlen trifft. Der Gehalt des Gasgemischs an brennbaren Körpern wird demnach angereichert, aber die Zersetzung erheischt einen Wärmeverbrauch, der eine Abnahme der Temperatur zur Folge haben muss. Bei dem Vorgange $H_2O + C = 2H + CO$ werden

1) Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, S. 50.

2) Hinsichtlich der Berechnung dieser Wärmeleistung vergleiche Ledebur, Die Gasfeuerungen, Seite 29.

durch 1 kg Wasserdampf $^2/_3$ kg Kohlenstoff vergast. Für die Zerlegung jenes Wasserdampfes ist die gleiche Wärmemenge erforderlich, welche bei der Wasserdampfbildung aus Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt wird, also, da 1 kg Wasserdampf aus $^1/_9$ kg Wasserstoff und $^8/_9$ kg Sauerstoff besteht, $^1/_9 \times 28\,780 = 3189$ W.-E. (Seite 52). Dagegen entwickeln die hierbei verbrauchten $^2/_3$ kg Kohlenstoff bei ihrer Verbrennung zu Kohlenoxyd $^2/_3 \times 2470 = 1647$ W.-E. Es ergiebt sich ein Mehrverbrauch an Wärme von $3189 - 1647 = 1551$ W.-E. für jedes Kilogramm zersetzten Wasserdampfs oder 2326 W.-E. für 1 kg durch Wasserdampf vergasten Kohlenstoffs. War nun die Temperatur im Gaserzeuger schon zuvor nicht höher als eben für die Bildung eines kohlensäurearmen Gases nothwendig ist, so muss, sobald die Menge des mit der Luft zugeführten Wasserdampfs angereichert und hierdurch die Temperatur erniedrigt wird, der Kohlensäuregehalt des erfolgenden Gases wachsen; statt einer Verbesserung der Zusammensetzung des Gasgemenges kann eine Verschlechterung eintreten. Durch Rechnung lässt sich jedoch nachweisen, dass unter gewöhnlichen Verhältnissen, d. h. wenn die Luft den Wasserdampf einfach gelöst enthält, dessen Menge zu gering ist, um erhebliche Aenderungen in der Zusammensetzung des Gases zu bewirken. Luft von 20° C. enthält beispielsweise, wenn sie völlig mit Feuchtigkeit gesättigt ist, 1,3 v. H. ihres Eigengewichts Wasser. Zur Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff zu Kohlenoxyd sind 5,65 kg Luft erforderlich, welche demnach 0,07 kg Wasserdampf mitbringen würde, und die Menge des hierdurch vergasten Kohlenstoffs betrüge 0,05 kg. Dem Wärmegewinn von 2470 W.-E. durch die Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff durch Luftsauerstoff, stände demnach ein Wärmeverbrauch von nur $0{,}05 \times 2326 = 116$ W.-E. gegenüber, und neben 2,45 kg Kohlenoxyd würden 0,008 kg Wasserstoff in dem Gasgemische auftreten, sofern man die aus der Entgasung roher Brennstoffe hervorgegangenen Mengen von Kohlenoxyd und Wasserstoff ausser Betracht lässt.

Von den Vorgängen, wenn man nicht nur die von der Luft gelöste Feuchtigkeit, sondern selbstständig erzeugten Wasserdampf neben der Luft in die glühenden Kohlen einführt, wird unten die Rede sein (Mischgaserzeugung).

Wie erwähnt, ist die Ausbeute an Gas und die Zusammensetzung des Gases von der chemischen Zusammensetzung des benutzten Brennstoffs abhängig. Brennstoffe, welche auch im lufttrockenen Zustande grössere Mengen Feuchtigkeit enthalten (Holz, Torf), liefern wasserdampfreiche Gase, und die Ausbeute an eigentlichem Gas aus der gleichen Menge Brennstoff fällt geringer aus; auch der grössere Sauerstoffgehalt der genannten Brennstoffe schmälert, indem er bei der Entgasung mit einem entsprechenden Theile des Wasserstoffgehalts zu Wasserdampf sich vereinigt, das Ausbringen an Gas. Brennstoffe, welche reich an freiem Wasserstoff sind (vergleiche Seite 70), liefern auch ein an Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen verhältnissmässig reiches Gas; in den Gasen aus gasärmeren Kohlen dagegen sind Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe nur in geringeren Mengen anwesend.

Unter den verschiedenen Steinkohlenarten werden die langflammigen, nichtbackenden Kohlen mit Vorliebe für die Luftgasdarstellung benutzt. Sie geben ein an Wasserstoff verhältnissmässig reiches, gut

brauchbares Gas. Backende Steinkohlen würden zwar gemäss ihrer chemischen Zusammensetzung nicht minder gut als jene zur Luftgaserzeugung geeignet sein, aber ihre Neigung, zu grossen Stücken zusammenzubacken, welche den gleichmässigen Durchgang der Luft hindern, erschwert ihre Vergasung. Gasärmere Kohlen liefern wasserstoffärmeres Gas und sind nach Früherem das geeignetste Material für die Verkokung.

Da die Verdampfung des Wassergehalts der Brennstoffe erhebliche Wärmemengen verbraucht, ist die im Gaserzeuger herrschende Temperatur im Allgemeinen um so niedriger, je wasserreicher die verarbeiteten Brennstoffe sind; hiermit in nahem Zusammenhange steht die Thatsache, dass aus wasserreicheren Brennstoffen ein an Kohlensäure reicheres Gas als aus wasserärmeren zu erfolgen pflegt.

Der für die Vergasung des Kohlenstoffs erforderliche Sauerstoff führt aus der Luft mehr als die dreifache Menge Stickstoff mit, welcher unverändert in das Gasgemenge eingeht; bei der Entgasung roher Brennstoffe findet Gasbildung ohne Stickstoffzuführung statt. Hierdurch erklärt sich, dass die Gesammtmenge des aus gleichen Gewichtsmengen verkohlter Brennstoffe erfolgenden Gases (einschliesslich des Stickstoffgehalts) grösser ist, als des aus rohen Brennstoffen erfolgenden; aber auch der Stickstoffgehalt des ersteren Gases ist grösser, wie aus den früher mitgetheilten Mittelwerthen der Zusammensetzung der beiden Luftgasarten sich ergiebt.

Unter Berücksichtigung der durch Theerbildung und Rostdurchfall veranlassten Verluste kann man als durchschnittliches Ausbringen an Luftgas (einschliesslich des Stickstoff- und Kohlensäuregehalts, jedoch ohne den Wasserdampfgehalt) aus 1 kg aschen- und wasserfreier Brennstoffmasse der verschiedenen Brennstoffe rechnen:

Holz	2,3 cbm	=	2,8 kg
Torf und jüngere Braunkohle . .	2,5 „	=	3,0 „
Aeltere Braunkohle.	3,4 „	=	4,0 „
Steinkohle	3,8 „	=	4,5 „
Holzkohle und Koks	6,0 „	=	7,2 „

Aus dem Gaserzeuger entweicht das Luftgas mit einer Temperatur, welche zwischen 100° und 1000° C. schwanken kann. Wasserreiche Brennstoffe geben kältere, wasserarme, insbesondere verkohlte, Brennstoffe geben heisse Gase. Die Gase führen demnach eine ihrer Temperatur entsprechende Wärmemenge mit, welche in dem Verbrennungsraume nutzbar gemacht werden kann, sofern die Gase mit jener Temperatur in den Verbrennungsraum eintreten, welche aber verloren geht, wenn die Gase auf ihrem Wege zum Verbrennungsraume absichtlich oder unabsichtlich abgekühlt werden. Dieser Wärmeverlust kann beträchtlich sein und mehr als ein Zehntel von der Wärmeleistung des Brennstoffs betragen, aus welchem das Gas dargestellt wurde;[1]) dennoch kann eine Abkühlung in solchen Fällen nützlich sein, wo es sich darum handelt, einem wasserreichen Gase, welches seines Wassergehalts halber zur Erzeugung hoher Temperaturen ungeeignet sein würde, diesen durch Verdichtung zu entziehen. Die Abkühlung bildet hier das Mittel, um

1) Beispiel hierfür: Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 38.

auch aus geringwerthigen Brennstoffen ein Gas von verhältnissmässig hohem Brennwerthe zu gewinnen.

Die Gaserzeuger.

Ein Luftgaserzeuger (Generator) besteht aus einem mit verschliessbarer Füllöffnung für den einzuschüttenden Brennstoff, Eintrittsöffnung für die Luft und Austrittsöffnung für das Gas versehenen Raume, in welchem die Luft, fast immer von unten nach oben emporsteigend, die Brennstoffschüttung durchdringt. In der Nähe ihrer Eintrittsstelle findet die Vergasung, d. h. die Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd statt; die hierbei entwickelte Wärme wird von den Gasen aufgenommen und zum Theile zur Verflüchtigung des Wassers und zur Entgasung der frisch aufgeschütteten Brennstoffe verbraucht, zum andern Theile aber aus dem Gaserzeuger mitgenommen. Der Vorgang der Gasbildung verläuft demnach ununterbrochen, so lange der Luftzutritt nicht gehemmt ist und frischer Brennstoff in entsprechender Menge nachgefüllt wird.

Die Bewegung der Luft im Gaserzeuger und von diesem nach dem Ofen wird entweder durch die Zugwirkung einer an den Ofen sich anschliessenden Esse oder durch ein Gebläse bewirkt, welches die gepresste Luft dem Gaserzeuger zuführt. In den ersten Jahren nach Einführung der Gasfeuerungen bediente man sich fast ausnahmslos eines Gebläses; später hielt man die Benutzung einer Esse für einfacher, und während mehrerer Jahrzehnte verschwanden die durch ein Gebläse betriebenen Gaserzeuger fast vollständig. Erst seit der Mitte der siebenziger Jahre hat man die Vortheile deutlicher erkannt, welche die Anwendung eines Gebläses in der That gewährt, und so ist allmählich dieses Verfahren wieder üblicher geworden. In der Jetztzeit ist die Zahl der Gebläse-Gaserzeuger grösser, als die der Zug-Gaserzeuger.

In verschiedener Hinsicht erweisen sich die ersteren als nützlicher.

Einem früher (Seite 43) ausgesprochenen Gesetze gemäss befördert bei der Verbrennung fester Brennstoffe hohe Gasspannung im Verbrennungsraume Kohlenoxydbildung, niedrige Gasspannung Kohlensäurebildung. Bei der Luftbewegung durch Essenwirkung herrscht im Verbrennungsraume, aus welchem die Gase abgesaugt werden, Luftverdünnung, bei der Luftzuführung durch ein Gebläse Luftverdichtung. Für die Erlangung eines an Kohlenoxyd reichen Gases ist demnach die Benutzung des Gebläses vortheilhafter.

Nicht minder wichtig ist der Umstand, dass man bei der Luftzuführung durch ein Gebläse die Luftmenge so regeln kann, wie es für den Gang des Gaserzeugers als am vortheilhaftesten sich erweist, während die Zugwirkung einer Esse von verschiedenen unberechenbaren Nebenumständen abhängt. Die Stückgrösse und Schütthöhe des Brennstoffs im Gaserzeuger, die Widerstände in der Leitung, die Temperatur der Essengase und selbst die Witterungsverhältnisse beeinflussen jene Zugwirkung. Ein und derselbe Gaserzeuger, durch Essenzug betrieben, kann bei verschiedener Witterung abweichende Ergebnisse liefern.

Endlich lässt sich auch die ganze Anlage der Gaserzeuger und Oefen bei Benutzung von Gebläsewind vereinfachen. Findet Betrieb durch Essenzug statt, so müssen die Gaserzeuger tiefer als die Oefen

liegen, damit die heissen Gase ihrem Bestreben, emporzusteigen, Folge geben können. Gewöhnlich ist eine Verlegung der Gaserzeuger in eine im Erdboden hergestellte Vertiefung erforderlich, wodurch die Bauart schwerfällig und kostspielig wird. Diese Rücksicht fällt weg, wenn man sich des Gebläsewindes bedient. Die Gaserzeuger können oberirdisch aufgestellt werden, und die Fortbewegung des Gases erfolgt ohne Schwierigkeit durch Vermittelung des im Gaserzeuger herrschenden Ueberdrucks.

Da die zum Betriebe von Gebläse-Gaserzeugern erforderliche Windspannung niemals sehr hoch ist — man pflegt mit einer Spannung von 8 bis höchstens 20 cm Wassersäule zu blasen — genügen einfache Gebläse. Mitunter bedient man sich, zumal bei kleineren Anlagen, der Dampfstrahlgebläse, und jeder Gaserzeuger bekommt in diesem Falle sein eigenes Gebläse; für grössere Anlagen sind Flügelradgebläse (Ventilatoren, Centrifugalgebläse) oder Kapselgebläse (Roots'sche Gebläse) geeigneter, deren jedes den erforderlichen Wind für eine grosse Zahl von Gaserzeugern zu liefern vermag, und welche eine Regelung der Windmenge und Windspannung innerhalb weiterer Grenzen als die Dampfstrahlgebläse ermöglichen.

Bei den Zug-Gaserzeugern erfolgt der Zutritt der Luft durch einen Rost; bei den Gebläse-Gaserzeugern bedient man sich entweder ebenfalls eines Rostes, indem man den Aschenfall schliesst und den Wind unter den Rost treten lässt, oder man führt den Wind, wie bei Gebläseschachtöfen, durch seitliche, in geringer Höhe über dem Boden angebrachte Oeffnungen (Windformen) zu. Der Rost fällt bei dieser Einrichtung weg; die Asche der Brennstoffe muss zu einer ausreichend flüssigen Schlacke geschmolzen werden, welche von Zeit zu Zeit durch eine an der tiefsten Stelle des Gaserzeugers angebrachte, mit einem Thonpfropfen verschlossen gehaltene Oeffnung (Schlackenstich) abgelassen wird. Zur Bildung jener dünnflüssigen Schlacke pflegt ein Kalksteinzuschlag bei jeder Aufschüttung von Brennstoffen erforderlich zu sein, dessen Menge nach dem Aschengehalte des Brennstoffs und der chemischen Zusammensetzung der Asche bemessen wird. Das Verfahren gewährt den Vortheil, dass man den Gaserzeuger in höherer Temperatur als einen solchen mit Rost betreiben kann (die Rosttheile würden bei allzu starker Erhitzung rasch zerstört werden); dass das Reinigen des Rostes wegfällt, welches bei geschlossenem Aschenfalle nicht ohne zuvorige Oeffnung des Aschenfallverschlusses und demnach Unterbrechung der Windzuführung zu bewerkstelligen ist; und dass, wie sich aus Beobachtungen im Betriebe schliessen lässt, die kalkreiche Schlacke einen Theil des Schwefelgehalts der Brennstoffe aufnimmt, welcher Umstand nicht ohne Bedeutung für manche Verwendungen des erfolgenden Gases ist.[1]) Da aber die Menge des Kalksteinzuschlags in bestimmtem Verhältnisse zu dem Aschengehalte stehen muss und sowohl ein zu reichlicher als ein zu knapp bemessener Kalksteinzuschlag die Bildung einer

1) Man hat gefunden, dass der Einfluss des Schwefelgehalts der vergasten Kohlen, welcher bei gewissen Verwendungen des erfolgenden Luftgases in recht nachtheiliger Weise sich bemerkbar machen kann, unmerklicher wurde, wenn die Kohlen in Gaserzeugern mit Gebläsewind und Kalkzuschlag vergast wurden. (Jernkontorets Annaler 1885, Seite 377.

allzu strengflüssigen und deshalb schwierig zu entfernenden Schlacke zur Folge haben würde, ist das Verfahren nur anwendbar, wenn der Aschengehalt der zur Gasdarstellung bestimmten Brennstoffe nicht etwa grösseren Schwankungen unterworfen ist.

Die Temperatur im Gaserzeuger, von welcher den gegebenen Darlegungen zufolge die Zusammensetzung des erfolgenden Gases zum grossen Theile abhängt, wird bei Benutzung des nämlichen Brennstoffs vornehmlich beeinflusst durch die Menge der in bestimmter Zeit zugeführten Luft und durch die Schütthöhe des Brennstoffs, zwischen dessen Stücken die gebildeten Gase emporsteigen. Je grösser die zugeführte Luftmenge ist, desto mehr Brennstoff wird in bestimmter Zeit vergast, desto reichlichere Wärmemengen werden hierbei entwickelt, und desto günstiger ist das Verhältniss zwischen der entwickelten Wärme und den Wärmeverlusten durch Abgabe an die Wände; desto höher demnach die Temperatur im Gaserzeuger. Diese Temperatur hängt aber auch von der Vorwärmung ab, welche die Brennstoffe von dem Augenblicke an erfuhren, wo sie eingeschüttet wurden, bis sie in den Vergasungsraum einrückten,[1]) und diese Vorwärmung ist offenbar um so beträchtlicher, je längere Zeit die Brennstoffe mit dem aufsteigenden Gasstrome in Berührung waren, d. h. je höher die Brennstoffschüttung ist.

Hierbei erheischt nun aber ein anderer Umstand Berücksichtigung. Mit der Schütthöhe wächst der Widerstand, welchen die Luft und das Gas für die Fortbewegung finden, und dementsprechend verringert sich die zutretende Luftmenge, sofern nicht bei Bemessung der Luftspannung dieser Zunahme des Widerstandes Rechnung getragen wird. Dem durch beträchtlichere Schütthöhe erreichten Vortheile würde der grössere Nachtheil einer Verminderung der zutretenden Luftmenge gegenüberstehen. Bei Luftzuführung durch ein Gebläse lässt sich durch entsprechende Steigerung der Luftspannung Ausgleich schaffen; die durch eine Esse erreichbare Zugwirkung dagegen bleibt immerhin auf ein gewisses niedriges Maass beschränkt. Auch hierin liegt ein Vortheil der Gebläse-Gaserzeuger. Bei Zug-Gaserzeugern pflegt man eine Schütthöhe von 0,6 bis 0,8 m für feinstückigere Brennstoffe, von 1 bis 1,5 m für Holz und Torf zu geben: bei Gebläse-Gaserzeugern kann man, sofern das Gebläse leistungsfähig genug ist, Schütthöhen von 3 m und darüber auch für weniger grobstückige Brennstoffe zur Anwendung bringen und hierdurch sehr hohe Vergasungstemperaturen erzeugen.

Ist die Schütthöhe allzu gering, so entsteht die Gefahr, dass unverzehrter Sauerstoff durch den Brennstoff emporzusteigen Gelegenheit finde, oder dass ein kohlensäurereiches Gas sich bilde.

Damit aber die Gaserzeugung in befriedigender Weise verlaufe, ist es auch erforderlich, dass die eintretende Luft die angehäuften Brennstoffe in möglichst gleichmässiger Vertheilung durchdringe. Bei der Wahl der Form und Grösse der Gaserzeuger muss hierauf Rücksicht genommen werden. An den Wänden des Gaserzeugers erleiden die Brennstoffe bei ihrem Niederrücken Reibung, welche hier eine Auflockerung bewirkt. Infolge davon finden die Luft und das Gas hier geringere Widerstände als in der Mitte und erlangen das Bestreben,

1) Ueber den Einfluss dieser Vorwärmung vergleiche die Beispiele auf Seite 56.

an den Wänden emporzusteigen. Je grösser der Gesammtquerschnitt des Gaserzeugers ist, desto weniger werden die in der Mitte befindlichen Brennstoffe von dem Luft- und Gasstrome berührt, desto deutlicher treten die üblen Folgen dieser Ungleichmässigkeit zu Tage. Aus diesem Grunde pflegt man dem Gaserzeuger keinen grösseren Querschnitt als 2 qm an der engsten Stelle, häufiger nur 1 bis 1,5 qm zu geben, und sofern die innerhalb dieses Querschnittes erfolgende Gasmenge nicht für den Bedarf ausreicht, vereinigt man mehrere Gaserzeuger in der später zu besprechenden Art und Weise zu einer Gruppe. Die Menge des für je 1 qm Querschnitt des Gaserzeugers stündlich vergasten Brennstoffs beträgt bei Benutzung von Steinkohlen in Zug-Gaserzeugern gewöhnlich 60 bis 80 kg und kann bei Gebläse-Gaserzeugern mit hoher Schüttung, entsprechend starker Windspannung und reichlicher Windmenge, den dreifachen Betrag erreichen. Bei Holz- und Torfgaserzeugern lassen sich, sofern Gebläsewind zur Anwendung kommt, auf 1 qm Querschnitt 200 bis 300 kg Brennstoff stündlich vergasen.

Ein anderes Mittel, um die gleichmässige Vertheilung der Gase zu befördern, ist eine Verengung der Gaserzeuger nach unten, d. h. nach der Eintrittsstelle für die Luft zu. Die Luft tritt alsdann in grösserer Nähe der Achse des Gaserzeugers ein, und der Weg, welchen sie zurückzulegen hat, um an die Wände des unteren Theils zu gelangen, ist länger, als wenn der Gaserzeuger prismatische oder cylindrische Form besitzt. Man pflegt von diesem Mittel stets Anwendung zu machen, sofern nicht die besondere Beschaffenheit der Brennstoffe es verbietet.[1])

Ordnet man die Lufteinströmungen (z. B. einen Treppenrost) an derjenigen Seite an, welche der Gasaustrittsöffnung gegenüberliegt, so werden auch hierdurch die Gase veranlasst, in reichlicherer Menge ihren Weg durch die Brennstoffschüttung zu nehmen.

Endlich ist auch die Anordnung der Füllöffnungen von Einfluss auf die Zusammensetzung des Gases. Da die Luft, wie erwähnt, das Bestreben hat, an den Wänden aufzusteigen und sich hierdurch der ausgedehnten Berührung mit dem Brennstoffe zu entziehen, müssen die Füllöffnungen eine solche Lage und Einrichtung besitzen, dass der Brennstoff mehr an den Wänden als in der Mitte sich häuft. Wie die Aufgabe zu lösen ist, hängt zum Theil von der in jedem einzelnen Falle gewählten Form des Gaserzeugers ab. Die hierunter gegebenen Beispiele verschiedener Gaserzeuger können als Erläuterung hierfür dienen.

Beispiele von Gaserzeugern.

Eine in den sechziger Jahren dieses Jahrhunderts durch die Gebrüder Wilhelm und Friedrich Siemens eingeführte und jetzt noch ziemlich häufig angewendete Form von Gaserzeugern für Darstellung von Stein- oder Braunkohlengas, durch Essenzug betrieben, ist in den Abbildungen Fig. 15 und 16 dargestellt. *A* ist der eine von vier im Quadrate gegeneinander gestellten, in das Erdreich eingebauten Gaserzeugern, welche ihre Gase in einen gemeinschaftlichen senkrechten,

1) Backende Steinkohlen würden z. B. in einem nach unten sich verengenden Gaserzeuger gar nicht oder nur in sehr unregelmässiger Weise sich abwärts bewegen. In diesem Falle ist deshalb das Mittel nicht anwendbar.

in der Mitte des Quadrats stehenden Kanal entlassen. *d* ist einer der beiden Füllschächte jedes Gaserzeugers (in Fig. 16 rechts ist die Hälfte eines solchen Füllschachts im Schnitte gezeichnet). Jeder Füllschacht besteht aus einem gusseisernen Gehäuse mit abnehmbarem Blechdeckel, dessen Rand in eine herumlaufende, mit Wasser oder Theer gefüllte Rinne taucht, so dass luftdichter Abschluss erzielt wird. Unten ist der Schacht durch eine gusseiserne Klappe geschlossen, welche durch einen Hebel mit Gegengewicht bewegt wird. Man füllt, während die Klappe geschlossen gehalten wird, die aufzuschüttenden Kohlen nach Abheben des Deckels durch die obere Oeffnung ein, setzt den Deckel auf und öffnet nunmehr erst den Klappenverschluss, um die Kohlen hinunter stürzen zu lassen. Auf diese Weise ist das Eintreten von Luft oder das Austreten von Gas beim Füllen vermieden. Die Rückseite des Gaserzeugers besteht aus einer um 50 bis 70 Grad gegen die Wage

Fig. 15.

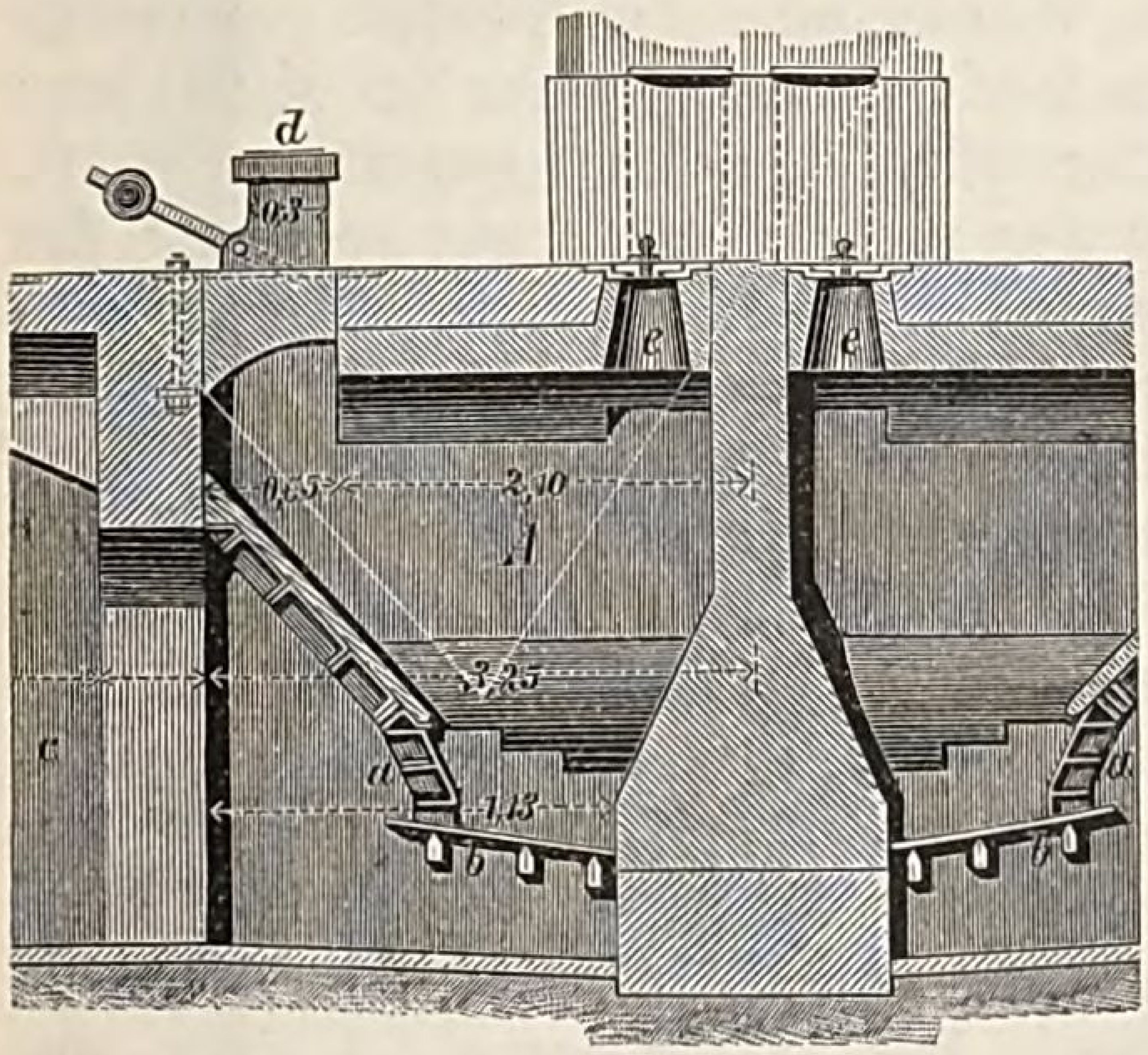
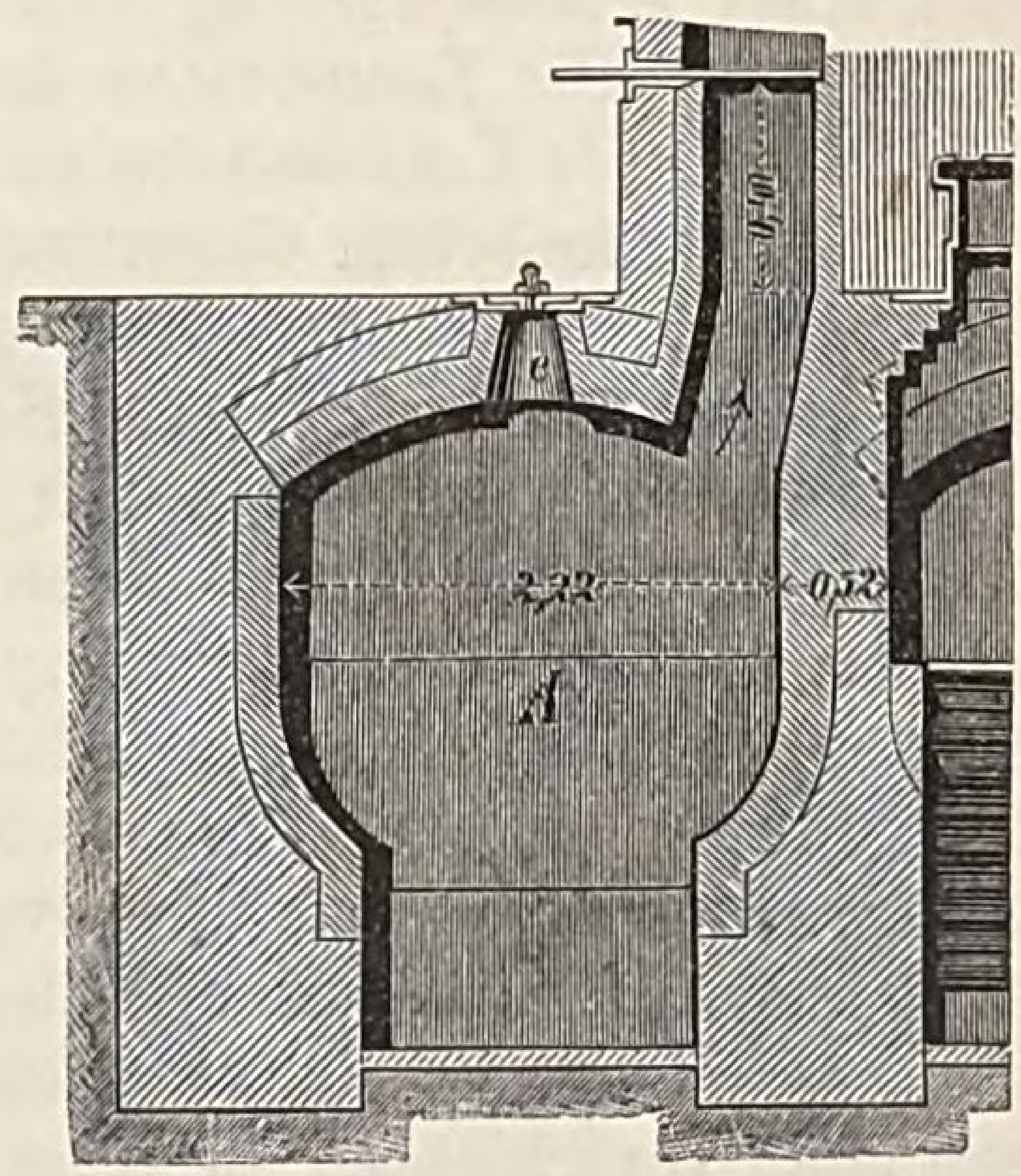


Fig. 16.



geneigten Ebene, an welche sich unten ein Treppenrost *a* anschliesst; die untere Begrenzung wird durch einen schwach geneigten Planrost *b* gebildet. Die einstürzenden Kohlen gleiten auf der schrägen Wand abwärts und bilden eine Schüttung auf dem Roste, durch welche die eintretende Luft ihren Weg nehmen muss. *e e* sind Schüröffnungen, gewöhnlich drei in der Decke jedes Gaserzeugers. Sie dienen zum Einführen von Stangen, um die Schlackenansätze zu beseitigen und das gleichmässige Niederrücken der Kohlen zu befördern. *c* ist die für zwei nebeneinander liegende Gaserzeuger gemeinschaftliche Schürgrube, in deren Decke Einsteigöffnungen angebracht sind.

Soll der abgebildete Gaserzeuger mit Gebläsewind betrieben werden, so schliesst man den Zugang von der Schürgrube nach dem Aschenfall durch eine eiserne Thür und leitet den Wind unter den Rost.

Eine grössere Gruppe von Gaserzeugern neuerer Einrichtung, durch Gebläsewind betrieben und für die Vergasung von Steinkohlen bestimmt, zeigen die Fig. 17 und 18. Sie besitzen cylindrische Form mit einer trichterartigen Verengung nach dem Roste zu; der Wind wird durch zwei Düsen (Formen) unter dem Roste zugeführt. Durch

den in Fig. 18 in seiner Längenausdehnung sichtbaren Kanal *b* strömt das Gas nach dem für alle Gaserzeuger gemeinschaftlichen Kanale *a*, welcher es seinem Verwendungsorte zuführt; ein Ventil oberhalb *a* (in Fig. 18 sichtbar) in jedem Kanale *b* dient zur Unterbrechung der Verbindung, wenn einzelne Gaserzeuger ausser Betrieb gesetzt werden sollen. Der Fülltrichter zum Einschütten des Brennstoffs ist auch bei jedem dieser Gaserzeuger durch einen Deckel geschlossen, welcher durch Kette mit Gegengewicht gehoben und gesenkt wird (Fig. 17); der untere Verschluss aber wird nicht durch eine Klappe wie bei dem Gaserzeuger Fig. 15, sondern durch einen unter den Rand des Fülltrichters passenden, an einer Stange mit Hebel und Gegengewicht hängenden Kegel gebildet, welcher gesenkt wird, sobald die Kohlen in den Fülltrichter gebracht sind und der Deckel wieder aufgelegt worden ist. Vollkommener als bei dem in Fig. 15 abgebildeten Gaserzeuger wird hierdurch die Aufgabe erfüllt, die Brennstoffe am Umfange anzuhäufen.

Die abgebildeten Gaserzeuger werden durch ein Flügelradgebläse mit einer Windspannung von 90 mm Wassersäule (am Gebläse gemessen) betrieben. Die Temperatur der austretenden Gase, welche im Mittel nur 0,6 Raumtheile Kohlensäure zu enthalten pflegen, beträgt ungefähr 650 ° C.

Die nämlichen Gaserzeuger würden nicht minder gut auch für die Vergasung von Braunkohlen geeignet sein; für Torfgasdarstellung würde eine reichlicher bemessene Höhe zweckmässig sein.

Als Beispiel eines mit Schlackenstich versehenen und für Vergasung backender Steinkohlen bestimmten Gaserzeugers möge die Fig. 19 dienen (Sailler's Gaserzeuger). Um das Niederrücken der zusammenbackenden Kohlen zu ermöglichen, ist dem Gaserzeuger eine Erweiterung nach unten gegeben; damit der Wind die gefritteten Massen zu durchdringen vermöge, ist eine verhältnissmässig erhebliche Windspannung (100 bis 200 mm Wassersäule) erforderlich. *dd* sind die zum Ablassen der gebildeten Schlacke dienenden Oeffnungen, welche durch Thonpfropfen verschlossen gehalten werden. Die Windformen *bb* sind, um den Wind reichlicher in die Mitte zu führen, etwas nach innen vorgeschoben, und um sie hierbei vor einer raschen Zerstörung zu schützen, sind sie hohl und mit Wasser gekühlt.[1]) *cc* sind eingemauerte mit Wasser gefüllte Kühlkästen, um auch dem Mauerwerk einen Schutz gegen den Angriff der durch Kalkzuschlag leichtschmelzig gewordenen Schlacke zu gewähren. *c* ist eine Einsteigeöffnung für vorzunehmende Ausbesserungen im Innern, während des Betriebes vermauert und mit einer Thür aus Eisenblech versehen. Die Einschüttvorrichtung für den Brennstoff ist ähnlich wie bei den zuvor besprochenen Gaserzeugern. Das Gas entweicht mit einer Temperatur von 700 bis 900 ° C.; der Kohlensäuregehalt pflegt 1 bis 2 v. H. zu betragen.

In Rücksicht auf den Umstand, dass bei dem jedesmaligen Aufschütten frischen Brennstoffs die Temperatur im Gaserzeuger erniedrigt wird, zumal wenn reichliche Mengen von Wasserdampf hierbei entwickelt werden, und dass hierdurch auch der Verlauf der Vergasung

1) Ausführlicheres über die Einrichtung solcher durch Wasser gekühlter Windformen findet der Leser in der zweiten Abtheilung dieses Buches bei Besprechung der Einrichtung der Hochöfen.

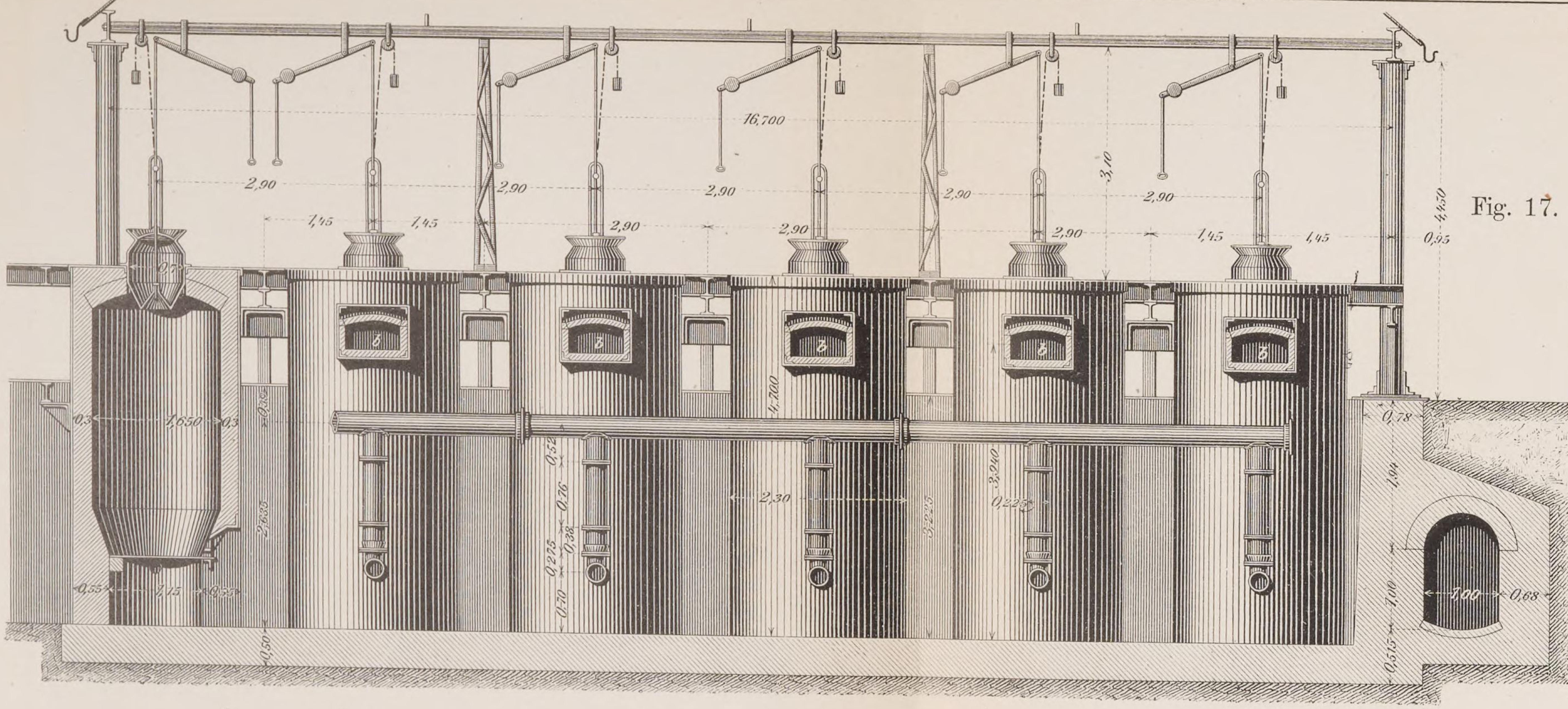


Fig. 17.

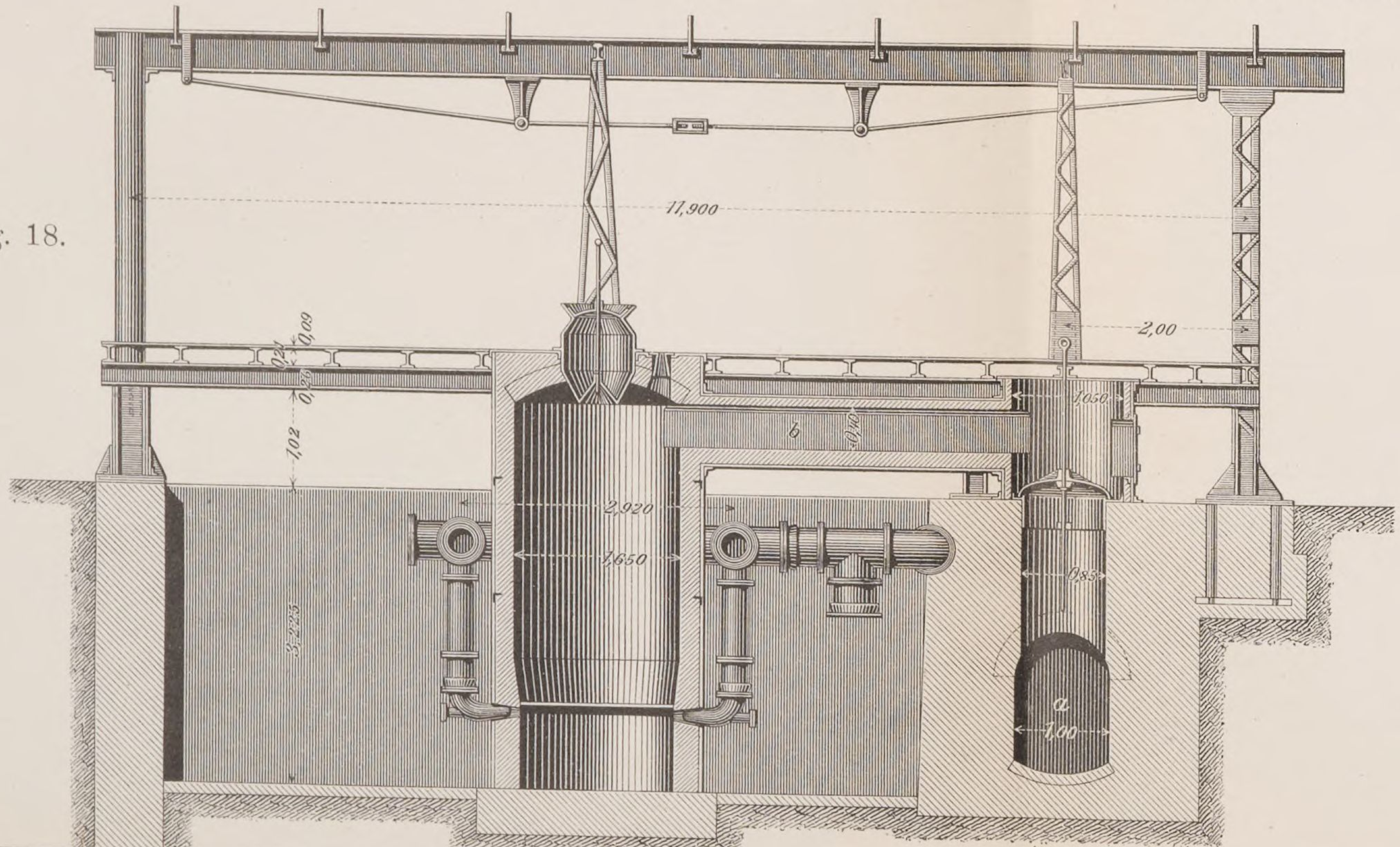


Fig. 18.

Gaserzeuger der Hütte Phönix.

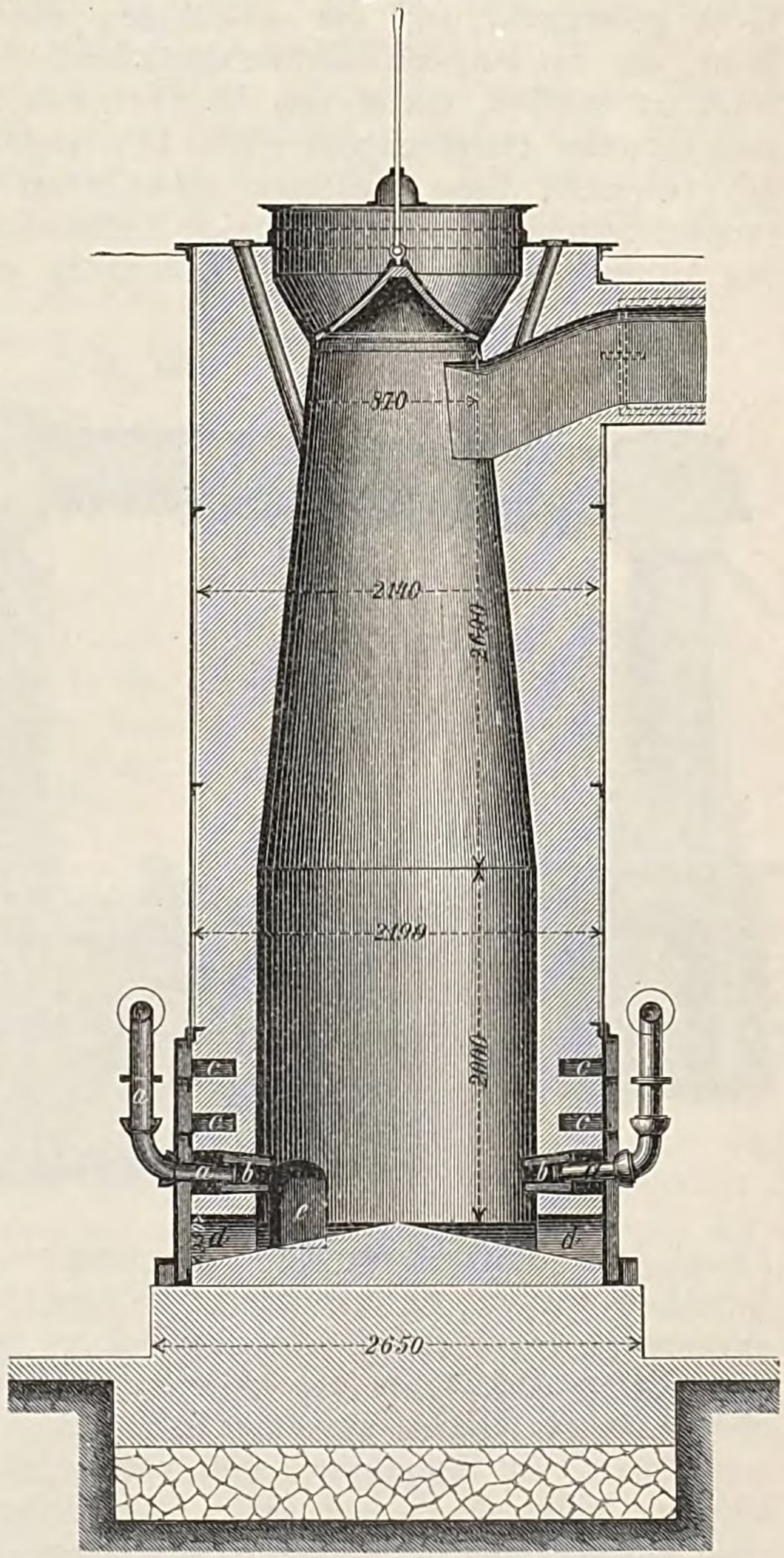
1/100 d. wirkl. Grösse.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

beeinflusst werden muss, hat man Gaserzeuger für die Verarbeitung roher Brennstoffe bisweilen so einzurichten gesucht, dass der Vorgang der Entgasung auch örtlich von dem der Vergasung getrennt bleibt; oder auch, dass die bei der Entgasung sich bildenden, die Heizkraft des Gases abmindernden Wasser- und Theerdämpfe durch die bereits glühenden Kohlen hindurchzuziehen gezwungen sind, um hier zerlegt und in Brenngas umgewandelt zu werden. Eine häufige Anwendung hat jedoch keiner der nach diesem Grundsatze bis jetzt gebauten Gaserzeuger gefunden, sei es, dass die gehegten Erwartungen sich überhaupt nicht erfüllten, oder dass die Anlage- und Unterhaltungskosten zu hoch oder die Wartung zu wenig einfach war.

Fig. 19.



Besser bewährt hat sich bei grösserem Betriebe die besprochene und durch die Fig. 15 und 16, 17 u. 18 veranschaulichte Vereinigung mehrerer Gaserzeuger zu einer Gruppe mit gemeinschaftlichem Gaskanal, aus dem jeder einzelne zu heizende Ofen seinen Gasbedarf empfängt. Indem man die Gaserzeuger zu verschiedenen Zeiten beschickt, ermöglicht man einen theilweisen Ausgleich der Unregelmässigkeiten in der Zusammensetzung des Gases, welche durch das Auffüllen frischen Brennstoffs hervorgerufen werden; durch Ein- oder Ausschalten einzelner Gaserzeuger der ganzen Gruppe ist man leicht im Stande, dem wechselnden Gasbedarfe des Betriebes Rechnung zu tragen.

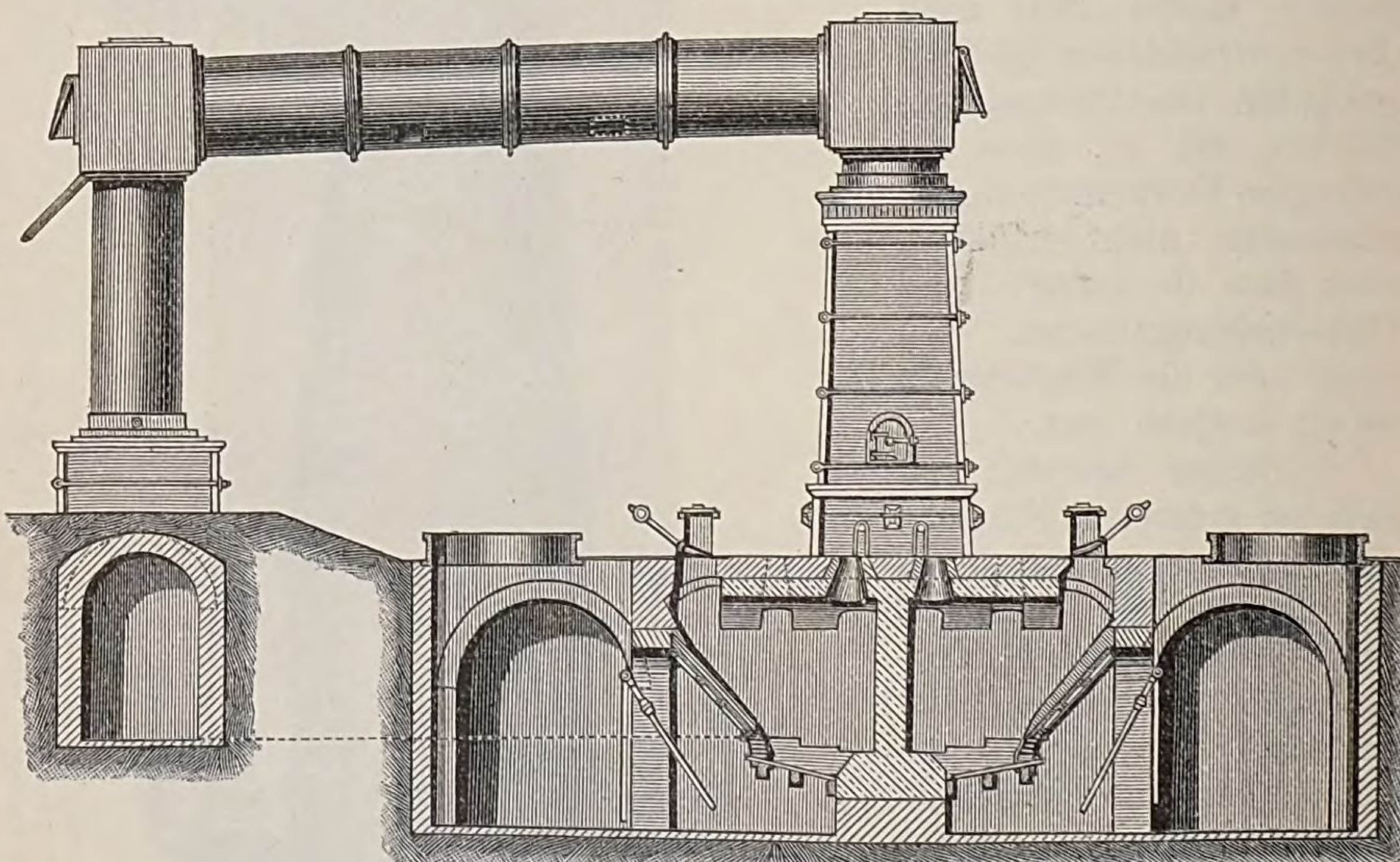
Die Verdichtungsvorrichtungen für Wasserdampf.

Schon mehrfach wurde erwähnt, dass bei Benutzung wasserreicher Brennstoffe zur Gaserzeugung die Einschaltung besonderer Verdichtungs-

vorrichtungen zweckmässig sein könne, um dem Gase einen Theil seines Wasserdampfgehalts zu entziehen und es dadurch auch für Entwickelung höherer Verbrennungstemperaturen geeignet zu machen.

Die Anordnung dieser Vorrichtungen kann ziemlich verschieden sein. Unter Umständen genügt schon ein langes und weites, aus Eisenblech gefertigtes und der Abkühlung durch die Luft preisgegebenes Rohr, um das langsam hindurchstreichende Gas abzukühlen. Die Fig. 20 zeigt ein solches, zuerst von W. Siemens in Verbindung mit den von ihm erbauten Gaserzeugern (Seite 115) angewendetes Rohr, in welchem die vereinten Gase mehrerer (gewöhnlich vier) zu einer Gruppe zusammengestellter Gaserzeuger sich fortbewegen. Siemens verband mit der Anwendung eines solchen, heberartig gestalteten, Rohres noch den

Fig. 20.



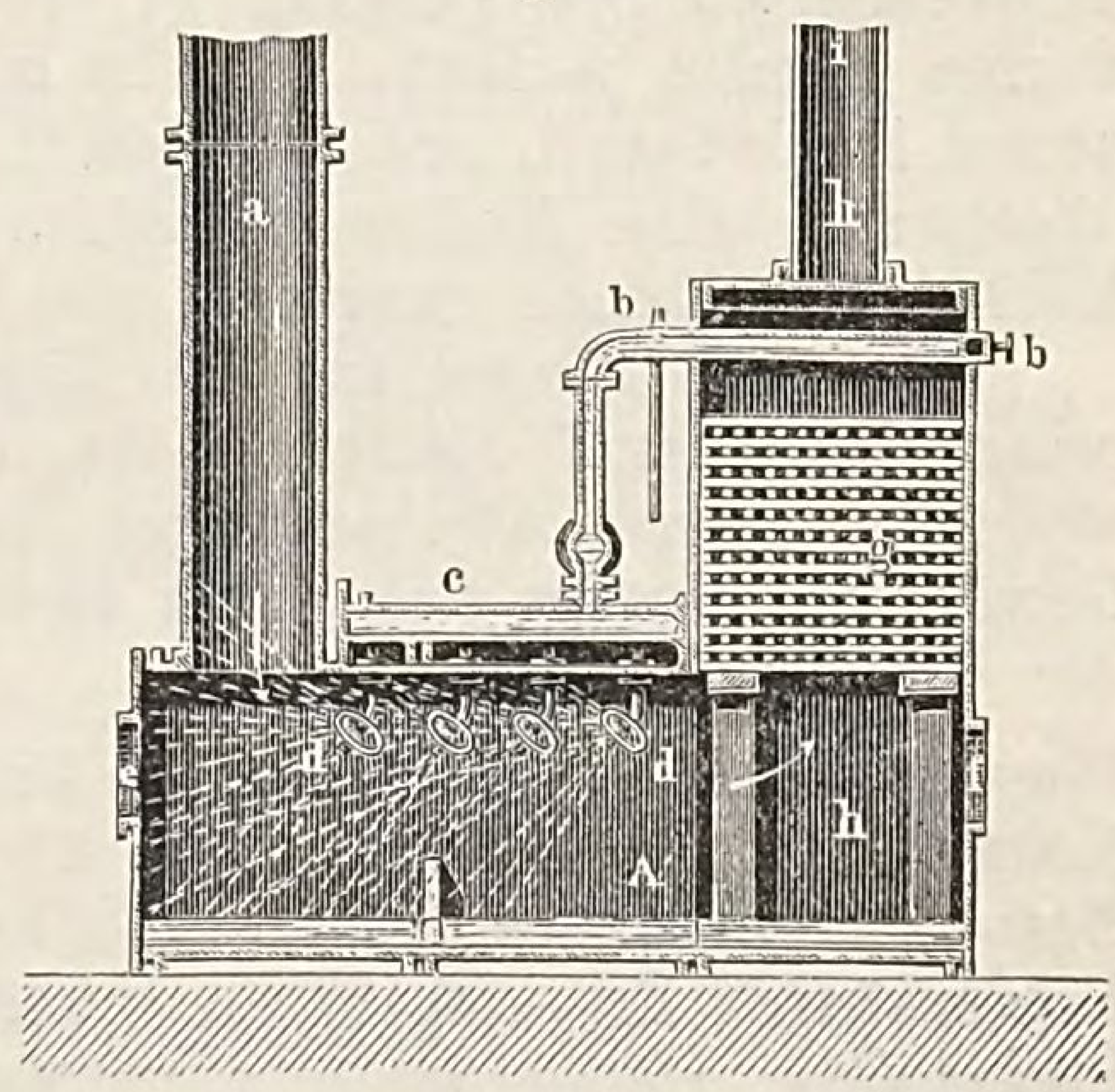
Zweck, die Zugwirkung bei Gaserzeugern, welche ohne Gebläsewind betrieben werden, zu verstärken. In dem rechts befindlichen, aus Ziegelmauerwerk erbauten Schenkel des Hebers steigen die Gase empor, ohne wesentliche Abkühlung zu erleiden; in dem langen, schwach geneigten oberen Rohre werden sie abgekühlt, wobei ihr specifisches Gewicht sich vergrössert, ihr Rauminhalt sich verringert; unter fortschreitender Abkühlung fallen sie in dem links befindlichen Schenkel abwärts, um dem Ofen zuzuströmen.[1]) Reinigungsöffnungen an dem oberen Rohre dienen zur Entfernung des sich absetzenden Theers; für das Abfliessen des

1) W. Siemens beschreibt den Vorgang folgendermaassen: „Die Mischung von Gasen steigt in einer Ziegelesse empor und geht dann durch das horizontale Kühlrohr, in welchem ein gewisser Theil der Energie der fühlbaren Wärme in Druck umgesetzt wird. In dieser Form ist sie aus zweierlei Ursachen erforderlich: einmal, um alles Eindringen von Luft in den Gaskanal zu verhindern, und zweitens, damit das Gas mit einem geringen Ueberdrucke bei dem Ofen ankommt.“ (W. Siemens, Einige wissenschaftlich-technische Fragen der Gegenwart, Berlin 1879, Seite 19.)

Wassers kann leicht an einigen tief gelegenen Stellen eine entsprechende Vorrichtung angebracht werden. Bei älteren Anlagen kann man noch ziemlich häufig diese Einrichtung sehen.

Eine kräftigere Wirkung als durch einfache Abkühlung von aussen wird erzielt, wenn man das Gas mit kaltem, auf eine grosse Fläche vertheiltem Wasser in Berührung bringt, sei es, dass man dieses in zahlreichen feinen Strahlen dem Gase entgegenführt, oder dass man gitterartig übereinander liegende Stäbe, zwischen denen das Gas hindurchzieht, damit berieselt. Eine Einrichtung dieser Art, zuerst für die Wasserverdichtung bei Gas aus Sägespänen bestimmt, später in gleicher oder ähnlicher Form auch für Gas aus Braunkohlen und anderen Brennstoffen verwendet, ist in Fig. 21 abgebildet.[1]) Das Gas tritt, aus dem Rohre *a* kommend, in die Kammer *d*, in welcher es der Berührung zahlreicher feiner Wasserstrahlen ausgesetzt wird. In dem Raume *h* ist es alsdann gezwungen, ein aus kreuzweise übereinander gelegten Eisenstäben gebildetes Gitter *g* zu durchströmen, welches von oben her mit Wasser berieselt wird. Für einen regelmässigen Abfluss des eingeleiteten und verdichteten Wassers wie des sich absetzenden Theers wird durch eine vom Boden der Kammer ausgehende Leitung Sorge getragen. *e* und *f* sind Mannlöcher.[2])

Fig. 21.



Immerhin ist, wie schon hervorgehoben wurde, jede Abkühlung des Gases gleichbedeutend mit einem Wärmeverluste, und es würde widersinnig sein, sie absichtlich vorzunehmen, wenn nicht ein sehr reichlicher Wassergehalt des Gases eine zwingende Veranlassung dazu giebt. Wenn z. B. 1 kg Braunkohlen, deren Wärmeleistung sich auf 6000 W.-E. beziffern möge, bei der Gaserzeugung 3,8 kg trockenes Gas neben 0,35 kg Wasserdampf von 300° C. liefert, und man kühlt dieses Gas auf ungefähr 20° ab, um den grössten Theil des Wassergehalts zu entfernen, so entzieht man dem Gase (nach Maassgabe seiner specifischen Wärme) ungefähr 300 Wärmeeinheiten. $^1/_{20}$ von dem Brennwerthe der Kohlen geht demnach hierbei verloren, und der Verlust wächst mit der Temperatur, welche das Gas vor der Abkühlung besass.

Bei Gas aus Stein- und älteren Braunkohlen pflegt man daher in jetziger Zeit eine absichtliche Abkühlung nicht mehr anzuwenden; zweck-

1) Aus B. Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde, Seite 190.

2) Abbildungen neuerer Vorrichtungen zur Wasserentziehung durch Abkühlung: von Ehrenwerth, Das Eisenhüttenwesen Schwedens, Leipzig 1885, Taf. 1 bis 3; R. Akerman, Bidrag till utredning af frågan om generering utaf bränslegas, Stockholm 1891, Pl. 13, 14. 15 (Sonderabdruck aus Jernkontorets Annaler für 1891), in deutscher Uebersetzung im Jahrbuche der k. k. österreichischen Bergakademien 1892, Seite 82.

dienlich kann sie bisweilen bei Gas aus Holz, Torf oder Ligniten sein, wenn hohe Verbrennungstemperaturen erzielt werden sollen, doch sucht man auch bei Benutzung dieser Brennstoffe durch vorausgehende Trocknung die Abkühlungsvorrichtungen, wenn irgend möglich, entbehrlich zu machen.

e) Das Wassergas.

Dem schon mehrfach besprochenen Vorgange, einer Zerlegung von Wasserdampf durch glühende Kohlen nach der Formel $H_2O + C = 2H + CO$, verdankt das Wassergas sein Entstehen. Vorausgesetzt, dass es möglich sei, den Vorgang in der durch die Formel angegebenen Weise durchzuführen, würde das Wassergas bestehen aus:

Wasserstoff . .	50 Raumtheilen	6,7 Gewichtstheilen
Kohlenoxyd .	50 „	93,3 „

Auch hierbei spielt jedoch die Temperatur eine Rolle. Während in Weissgluth der Vorgang in der That annähernd genau der obigen Formel gemäss verläuft, entsteht in niedrigerer Temperatur Kohlensäure neben Kohlenoxyd, und bei 500° C., also in dunkler Rothgluth, findet überhaupt keine Kohlenoxydbildung mehr statt. Dem Vorgange der Kohlensäurebildung entspricht die Formel $2H_2O + C = 4H + CO$.

Bei der Darstellung im Grossen verwendet man jedoch nicht reinen Kohlenstoff, sondern Koks, Anthracite oder sonstige Brennstoffe, wodurch fernere Abweichungen in der Zusammensetzung entstehen. Gewöhnlich bewegt sich daher diese Zusammensetzung innerhalb folgender Grenzen:

Wasserstoff	44 —53,	im Mittel 48	Raumtheile oder	5,9 Gewichtstheile
Kohlenoxyd	45 —40,	„ 43	„ „	75,4 „
Methan	4 — 0,	„ 1	„ „	1,0 „
Kohlensäure	1,5— 6,	„ 3,5	„ „	9,9 „
Stickstoff	8 — 1,	„ 4,5	„ „	7,8 „

1 kg Wassergas von dieser durchschnittlichen Zusammensetzung entwickelt bei der Verbrennung 3630 W.-E.; 1 cbm wiegt 0,71 kg.

Das Wassergas besitzt demnach eine erheblich grössere Wärmeleistung als das an Stickstoff reiche Luftgas und ist befähigter als dieses, auch ohne Vorwärmung hohe Temperaturen zu entwickeln.[1])

Diese Eigenschaften des Wassergases haben nicht selten zu übertriebenen Vorstellungen von dem Nutzen verleitet, welchen die Darstellung und Verwendung des Wassergases zu gewähren vermag.

Jene Zerlegung des Wasserdampfes durch glühende Kohlen erheischt, wie auf Seite 109 erläutert wurde, einen beträchtlichen Wärmeverbrauch. Während bei der Luftgasdarstellung die von den Kohlen bei ihrer Verbrennung zu Kohlenoxyd entwickelte Wärme ausreichend ist, nicht allein die Zerlegung (Entgasung) der etwa verwendeten rohen Brennstoffe zu bewirken, sondern auch das gebildete Gas auf eine mehr oder minder hohe Temperatur zu erhitzen, findet, wie durch Rechnung

1) Die theoretische, nach der Formel auf Seite 55 berechnete Verbrennungstemperatur des Luftgases beziffert sich, wenn man die eintretende Dissociation unberücksichtigt lässt, auf 1925° C., diejenige des Wassergases auf 2740° C.

nachgewiesen wurde, bei der Wassergasdarstellung für jedes Kilogramm vergaster Kohle statt der Wärmeerzeugung ein Verbrauch von Wärme statt, welcher bei ausschliesslicher Kohlenoxydbildung 2326 W.-E., bei ausschliesslicher Kohlensäurebildung 1513 W.-E. beträgt. Dieser Wärmeverbrauch muss gedeckt werden, sofern nicht die Temperatur im Gaserzeuger stetig sinken und schliesslich die Gasbildung ganz aufhören soll.

Dass bei der Wassergaserzeugung an und für sich nicht etwa eine günstigere Ausnutzung des verwendeten rohen Brennstoffs stattfindet als bei Luftgaserzeugung (wie man bisweilen angenommen hat), folgt hieraus von selbst. Man stellt ein Gas dar, welches allerdings bei seiner Verbrennung eine grössere Wärmeleistung besitzt als die gleiche Menge Luftgas; aber die bei der Verbrennung mehr erzeugte Wärme entspricht genau jenem Mehrverbrauche an der Erzeugungstelle. Bei der Darstellung des Gases entnimmt man gewissermaassen unter Einzahlung eines Wärmebetrags einen Wechsel, dessen Betrag bei der Verbrennung ausgezahlt wird; wie aber bei dem Wechselverkehr Spesen unvermeidlich zu sein pflegen, findet bei der Wassergasdarstellung für die Erzeugung des erforderlichen Wasserdampfs ein Brennstoffverbrauch statt, welcher bei der Verbrennung des Gases keine Deckung findet. Dagegen kann allerdings die Ausnutzung der durch Verbrennung von Wassergas entwickelten Wärme in manchen Fällen sich günstiger gestalten, als bei Benutzung von Luftgas, da die höhere Verbrennungstemperatur des ersteren die Wärmeabgabe befördert und die Menge der aus dem Erhitzungsraume abziehenden und dabei Wärme entführenden Verbrennungserzeugnisse des Wassergases geringer ist, als die des Luftgases, wenn man sie auf die gleiche Menge der entwickelten Wärme bezieht.[1])

Jenen für die Wassergasdarstellung erforderlichen Wärmeverbrauch pflegt man nun bei der Darstellung im Grossen zu decken, indem man durch denselben Gaserzeuger abwechselnd — und zwar gewöhnlich in entgegengesetzter Richtung, entsprechend der Regel des Gegenstromgesetzes (Seite 58) — Luft und Wasserdampf hindurchführt, also auch abwechselnd Luftgas und Wassergas gewinnt. Bei der Luftgasdarstellung wird überschüssige Wärme erzeugt, und die Kohlen kommen allmählich in Weissgluth; bei der Wassergasdarstellung sinkt die Temperatur rasch. Da die Temperatur bei der Luftgasdarstellung um so höher steigt, je weniger Wasser und flüchtige Bestandtheile die Brennstoffe enthalten, pflegt man nur Koks, Anthracite oder anthracitartige Steinkohlen für die Wassergasdarstellung zu benutzen.

Rechnungsmässig müssen 0,9 kg Kohle durch Luft zu Kohlenoxyd verbrannt werden, um den Wärmeverbrauch bei der Wassergasdarstellung aus 1 kg Kohle zu decken; da jedoch sowohl bei der Luftgas- als Wassergasdarstellung Wärmeverluste unvermeidlich sind, und da insbesondere auch die Gase den Gaserzeuger in hoch erhitztem Zustande verlassen, beträgt der wirkliche Verbrauch an Kohlen zur Luftgaserzeugung zwei- bis viermal so viel als zur Wassergaserzeugung, und neben je 1 cbm Wassergas erfolgen 3 bis 5 cbm Luftgas.

Nicht immer lässt sich für diese reichliche Menge des als Nebenerzeugniss erfolgenden Luftgases eine lohnende Verwendung finden;

1) Berechnung dieser abziehenden Wärme: A. Ledebur, Die Gasfeuerungen, S. 70.

deshalb verbrennt man bei neueren Anlagen das gebildete Kohlenoxyd durch ferner zugeleitete Luft zu Kohlensäure und speichert die hierbei entwickelte Wärme in dem mit feuerfesten Ziegeln ausgesetzten Abzugskanale (ähnlich wie in den Kammern *hi* des Verkokungsofens Fig. 12 auf Seite 91) auf, um sie nach erfolgter Umsteuerung zur Ueberhitzung des zuströmenden Dampfs zu benutzen.[1]) Hierdurch wird der zur Deckung des Wärmebedarfs bei der Wassergaserzeugung theoretisch erforderliche Kohlenstoffverbrauch auf 0,3 kg für jedes zu Wassergas verarbeitete Kilogramm Kohlenstoff ermässigt; in Wirklichkeit gewinnt man bei diesem Verfahren etwa die $2^1/_2$fache Menge Wassergas aus der gleichen Menge Kohle,[2]) als wenn man von der Benutzung des Brennwerths des gebildeten Luftgases für die Wassergasdarstellung absieht.

Wegen der stattfindenden Schwankungen in der Zusammensetzung des Gases während des Blasens pflegt man das erzeugte Gas zunächst in einem geräumigen Ausgleichbehälter zu sammeln, von welchem es nun erst den Bestimmungsorten zugeführt wird.

Die Kosten einer Anlage für Wassergaserzeugung sind höher, die Bedienung ist weniger einfach als bei Luftgaserzeugung; die für Wassergaserzeugung geeignetsten Brennstoffe sind in den meisten Gegenden kostspieliger als die für Luftgaserzeugung benutzbaren. Die bisherigen Versuche, Wassergas an Stelle des Luftgases in den Oefen des Eisenhüttenbetriebes als Heizstoff zu benutzen, haben in der Regel eine Vertheuerung der Betriebskosten zur Folge gehabt. Erfolgreicher ist seine Anwendung in Fällen gewesen, wo man mit einfachen Hülfsmitteln rasch hohe Temperaturen erzeugen will, z. B. beim Schweissen bestimmter Gegenstände. Auch zu Beleuchtungszwecken findet das Wassergas an Stelle des kostspieligeren Leuchtgases zunehmende Benutzung. Von einer Besprechung der für seine Erzeugung erforderlichen Vorrichtungen kann in Rücksicht auf die sehr beschränkte Wichtigkeit, welche das Wassergas für den eigentlichen Eisenhüttenbetrieb besitzt, hier Abstand genommen werden.[3])

f) Das Mischgas.

Im Jahre 1869 machte Lürmann den Vorschlag, in einen heiss gehenden Luftgaserzeuger neben der atmosphärischen Luft Wasserdampf einzublasen, um die überschüssig entwickelte Wärme zur Zerlegung des Wasserdampfs unter Einwirkung der glühenden Kohlen nutzbar zu machen und solcherart ein an brennbaren Bestandtheilen reicheres Gas, als das gewöhnliche Luftgas, zu gewinnen.[4]) Erst später ist jedoch von

1) Dellwiks Wassergaserzeuger; vergleiche Litteratur.

2) Aus 1 kg Kohle etwa 2,5 cbm Wassergas. Die Menge der zur Dampferzeugung ausserdem erforderlichen Kohle beträgt etwa $^1/_{10}$ des Gewichts der vergasten Kohle.

3) Die wichtigeren Wassergaserzeuger sind beschrieben und abgebildet in Ledebur, Die Gasfeuerungen, Seite 74—80; Oefen für Heizung durch Wassergas ebenda, Seite 119. Ausführlicheres enthält die preisgekrönte Abhandlung: M. Geitel, Das Wassergas und seine Verwendung in der Technik, Berlin 1890, Sonderabdruck aus Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 24 bis 26.

4) Dingler's polytechnisches Journal, Band 195, Seite 254; „Stahl und Eisen" 1892, Seite 477.

Anderen Lürmann's Vorschlag mit Erfolg zur Ausführung gebracht worden, und man nennt solches Gas, welches ein Gemisch aus Luft- und Wassergas ist, am treffendsten Mischgas; sonstige, ziemlich häufig in Anwendung kommende, wenn auch weniger gut gewählte, Benennungen sind Dowsongas, Kraftgas.[1])

Wie die Bereitung des Wassergases ist die des Mischgases mit einem Wärmeverbrauche im Gaserzeuger verbunden. Sinkt dabei die Temperatur unter Weissgluth, so entsteht neben Kohlenoxyd Kohlensäure (Seite 121), wobei ebenfalls Wärmeverbrauch stattfindet; bei fernerer Abnahme der Temperatur hört zunächst die Kohlenoxydbildung, dann auch die Kohlensäurebildung auf, und der Wasserdampf geht unzersetzt durch den Gaserzeuger hindurch.[2]) Dass hierdurch auch die Zusammensetzung des unter der Einwirkung der Luft entstehenden Gases Einbusse erleiden muss, ergiebt sich aus dem früher Gesagten über die Vorgänge bei dessen Entstehung. Hieraus folgt aber, dass eine ununterbrochene Fortführung des Verfahrens nur dann möglich ist, wenn die Menge des eingeblasenen Wasserdampfs ein von der im Gaserzeuger entwickelten Temperatur abhängiges Maass nicht überschreitet, und dass die Zusammensetzung des erfolgenden Mischgases wegen der Zunahme des Kohlensäuregehalts um so ungünstiger wird, je weiter die Temperatur unter eine ziemlich hoch liegende Grenze sinkt.

Da nun diejenigen Brennstoffe, welche bei der Erhitzung die geringste Menge flüchtiger Körper entlassen, also verkohlte Brennstoffe und Anthracite, im Luftgaserzeuger die höchsten Temperaturen entwickeln, eignen sich diese auch vornehmlich zur Mischgasbereitung. Auch der Umstand, dass der eingeblasene Wasserdampf die lästige Theerbildung aus gasreichen Brennstoffen befördert, macht diese ungeeigneter für den in Rede stehenden Zweck. Bunte schliesst aus den Ergebnissen angestellter Versuche, dass man in heiss gehenden, mit Koks gespeisten Gaserzeugern 0,71 kg Wasserdampf auf je 1 kg vergaster Koks zuführen könne, ohne den Brennwerth der Gase zu schädigen;[3]) de Boischevalier giebt an, dass auf 1 kg Kohlenstoff 0,63 kg Wasserdampf eingeblasen werden könne;[4]) Bayard giebt 0,58 kg Wasserdampf auf 1 kg Brennstoff (Anthracit, Koks) als das zulässige Verhältniss an,[5]) und Schmidhammer berechnete, dass bei Vergasung von Rohkohle mit 67,6 v. H. Kohlenstoff (die übrigens aus den besprochenen Gründen an und für sich wenig brauchbar für das Verfahren sein

1) Der Name Kraftgas ist von der Anwendung des Gases zum Betriebe von Gaskraftmaschinen hergenommen.

2) Schon lange bevor dieser Zeitpunkt eintritt, pflegt ein Theil des Wasserdampfs unzersetzt mit dem Gase zu entweichen, und sein Gehalt mehrt sich, je weiter die Temperatur sinkt.

3) Commissionsbericht II im Journal für Gasbeleuchtung 1878 und 1879; auch Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 34. Eine Gegenüberstellung des zur Zerlegung dieser Dampfmenge erforderlichen Wärmeverbrauchs und der Wärmeerzeugung durch Verbrennung des Kohlenstoffs in Koks mit 87 bis 90 v. H. Kohlenstoff ergiebt, dass jener Dampfverbrauch nur möglich ist, wenn ein ziemlich reichlicher Theil des Kohlenstoffs zu Kohlensäure verbrannt wird. Die unten mitgetheilte Zusammensetzung des bei Bunte's Versuche gewonnenen Gases liefert die Bestätigung dafür.

4) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, Seite 1320.

5) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 956.

würde) schon bei 0,2 kg Wasserdampf auf 1 kg Brennstoff die zulässige Grenze erreicht werde.[1])

Die Zusammensetzung des unter verschiedenen Verhältnissen erzeugten Mischgases zeigt demnach ziemlich erhebliche Abweichungen, je nachdem die Temperatur höher oder niedriger, die Menge des zugeführten Wasserdampfs reichlicher oder beschränkter war. Nachfolgende Beispiele lassen diese Unterschiede erkennen. Die Ziffern geben die Zusammensetzung in Raumtheilen an.

	1.	2.	3.	4.
Kohlenoxyd	24,2	18,4	26,0	29,0 bis 26,6
Wasserstoff	3,3	12,9	14,1	5,8 „ 9,1
Kohlenwasserstoff . .	—	—	—	0,9 „ 2,2
Kohlensäure	4,6	0,0	6,9	4,0 „ 6,5
Stickstoff	67,9	59,7	52,8	55,8 „ 60,9

1. ist Luftgas aus Koks ohne Wasserdampfzuführung
2. ist Mischgas aus Koks mit 0,71 kg Wasserdampf auf 1 kg Koks

} nach Bunte; vergl. Fussanmerkung 3 auf Seite 123;

3. ist Mischgas nach Fischer, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, Seite 19;
4. sind Grenzwerthe der Zusammensetzung des Mischgases bei Versuchen an der Kraftgasanlage des Gas- und Wasserwerks zu Basel; nach E. Meyer, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1896, Seite 1332.

Obschon eine Erhöhung des Brennwerthes der verwendeten festen Brennstoffe ebensowenig durch die Mischgas- als durch die Wassergasdarstellung zu erreichen ist, kann doch ein Mischgas, welches unter günstigen Verhältnissen aus einem gasarmen festen Brennstoffe erzeugt wurde, vor dem aus demselben Brennstoffe gewonnenen Luftgase den Vortheil einer höheren Verbrennungstemperatur besitzen; ein Vergleich der Zusammensetzung des Mischgases mit der auf Seite 107 mitgetheilten Zusammensetzung des Luftgases lehrt indessen, dass der Unterschied verschwindet, wenn letzteres aus gut dafür geeigneten gasreichen Brennstoffen gewonnen wurde, welche für Mischgasbereitung nicht geeignet sein würden. Verlässt das Luftgas den Gaserzeuger mit hoher Temperatur und wird auf seinem Wege abgekühlt, so geht dadurch Wärme verloren, welche bei der Mischgaserzeugung zur Zerlegung des Wasserdampfs nutzenbringend verwendet werden kann, so dass in diesem Falle auch eine günstigere Ausnutzung des vergasten Brennstoffs sich erreichen lässt. Durch die Erzeugung des für die Mischgasbereitung erforderlichen überhitzten Wasserdampfs aber entstehen Kosten, welche bei der Darstellung des Luftgases wegfallen.

Alle diese Umstände zusammen liefern die Begründung dafür, dass die Mischgasdarstellung vornehmlich da in Anwendung gekommen ist, wo Anthracite oder als Nebenerzeugnisse erfolgende Koks (z. B. in Leuchtgasfabriken) als Material für die Bereitung von Brenngas benutzt werden sollen. Der erstere Fall kommt insbesondere auf einigen nord-

1) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 541.

amerikanischen Werken vor, der zweite gehört auf den Eisenwerken zu den seltenen Ausnahmen. Daher besitzt das Mischgas für die Zwecke des Eisenhüttenbetriebes bei Weitem nicht die Bedeutung als das Luftgas; verhältnissmässig häufig ist es an Stelle des kostspieligeren Leuchtgases zum Betriebe von Gaskraftmaschinen verwendet worden. Eine Zwischenstufe zwischen dem reinen Luftgase und dem Mischgase bildet jenes auf Seite 109 erwähnte, mit feuchter Luft erzeugte Luftgas, dessen Zusammensetzung nicht selten ebenso günstig ist als die eines guten Mischgases.

Die Gaserzeuger zur Gewinnung des Mischgases sind denen für Erzeugung von Luftgas sehr ähnlich. Ein Gaserzeuger der letztern Art lässt sich zur Mischgasbereitung verwenden, wenn man an geeigneter Stelle eine Dampfdüse einlegt. Abbildungen von Gaserzeugern, welche ausschliesslich für Mischgasdarstellung bestimmt sind, enthalten die unter Litteratur genannten Abhandlungen von Bayard, de Boischevalier und Meyer.

Litteratur.

A. Ueber sämmtliche Arten von Brennstoffen.

a) Einzelne Werke.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, übersetzt von Franz Kupelwieser, Bd. 1, S. 70—168. Paris 1877.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Bd. 1, S. 200 ff. Leipzig 1881.

F. Fischer, Die chemische Technologie der Brennstoffe. Braunschweig 1897.

Th. Beckert, Feuerungskunde (1. Abtheilung des Leitfadens der Eisenhüttenkunde, 2. Auflage). Berlin 1898.

b) Abhandlungen in Zeitschriften.

W Thörner, Beiträge zum Studium von Steinkohlen, Koks und Holzkohlen als Hochofenbrennmaterial. „Stahl und Eisen" 1884, S. 513; 1886, S. 72.

H. v. Jüptner, Energie und Ausnutzbarkeit fester, flüssiger und gasförmiger Brennmaterialien. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 229.

H. v. Jüptner, Die Bestimmung des Heizwerthes von Brennmaterialien. Sammlung chemischer u. chemisch-technischer Vorträge, Bd. 2, Heft 12 (1898).

F. W. Lürmann, Zur Werthbestimmung der Brennstoffe. „Stahl und Eisen" 1893, S. 52.

L. C. Wolff, Kalorimetrische Heizwerthbestimmung. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1897, S. 763.

B. Ueber Holz und Holzkohlendarstellung.

a) Einzelne Werke.

A. v. Kerpely, Die Anlage und Einrichtung der Eisenhütten. S. 412. (Darren des Holzes.) Leipzig 1873.

C. v. Berg, Anleitung zum Verkohlen des Holzes. 2. Aufl. Darmstadt 1860.

Gillot, De la carbonisation du bois. Paris 1872.

Dromart, Traité de la carbonisation en forêts. Paris 1880.

b) Abhandlungen.

T. Egleston, The manufacture of charcoal in kilns. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 8, p. 373; auszugsweise in der Zeitschr. d. berg- u. hüttenm. Vereins f. Steierm. u. Kärnten 1880, S. 516.

J. Birkinbine, The production of charcoal for Iron Works. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 7, p. 149; auszugsweise in Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 194.

J. Birkinbine, Charcoal as a fuel for metallurgical processes. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 9, p. 78.

Retort plant at Luther, Michigan. Journal of the United States association of charcoal iron workers, vol. 5, p. 9.

Charcoal kiln at Boxholm, Sweden. Journal of the United States association of charcoal iron workers, vol. 6, p. 107.

Continuirlicher Verkohlungsofen für Holz. „Stahl und Eisen" 1897, S. 932.

W. Sóltz, Holzverkohlung von H. Blank in Trzynietz. Dingler's polytechn. Journal, Bd. 255, S. 435.

Holzverkohlung in Lohe. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1893, S. 1490.

C. Ueber Torf, seine Aufbereitung und Verkohlung.

A. Vogel, Der Torf, seine Natur und Bedeutung. Braunschweig 1859.

A. Hausding, Industrielle Torfgewinnung u. Torfverwerthung. Berlin 1873.

E. Birnbaum und K. Birnbaum, Die Torfindustrie und die Moorcultur. Braunschweig 1880.

Th. Koller, Die Torfindustrie. Wien, Pest, Leipzig 1898.

b) Abhandlungen.

C. Schlickeisen, Verbesserungen an Torfmaschinen. Dingler's polyt. Journal, Bd. 234, S. 181.

Derselbe, Zur Geschichte der Torfmaschinen. Dingler's polyt. Journal, Bd. 238, S. 199.

Mecke und Sander's Torfmaschinen. Dingler's polyt. Journal, Bd. 238, S. 199.

A. M. Balling, Die Verwendung des Torfes bei dem Eisenhüttenwerke Josefsthal. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1877, S. 495 (mit Abbildung der Torfverkohlungsöfen).

A. Enigl, Ueber Mitverwendung von Maschinentorf beim Hochofenbetriebe. Zeitschr. des berg- u. hüttenm. Vereins für Steiermark u. Kärnten 1879, S. 41.

Dr. Holtz, Ueber Torfverkohlung. Zeitschr. f. angew. Chemie 1897, S. 772.

D. Ueber Braunkohle.

a) Einzelne Werke.

C. F. Zincken, Die Braunkohle und ihre Verwendung. 2 Bände. Hannover 1867 und 1871.

b) Abhandlungen.

A. Scheurer-Kestner et Meunier, Composition et chaleur de combustion des lignites. Annales de chim. et de phys., série 4, vol. 26, p. 80.

F. Kupelwieser, Studien über die Verwendung von Braunkohlen beim Hochofenbetriebe. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, S. 260.

F. Friederici, Ueber Verwendung von Braunkohlen im Hochofen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 2 (mit Abbildung der Verkokungsöfen).

E. Ueber Steinkohle und ihre Verkokung.

a) Einzelne Werke.

F. Toula, Die Steinkohlen, ihre Eigenschaften, Vorkommen, Entstehung und nationalökonomische Bedeutung. Wien 1888.

A. Burat, Epuration de la houille, criblage, triage et lavage. Paris 1881.

O. Bilharz, Die mechanische Aufbereitung der mineralischen Kohlen. Leipzig 1898.

F. Muck, Die Chemie der Steinkohle. Leipzig 1891.

F. Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund. Berlin 1887.

F. Simmersbach, Die Fortschritte der Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund in den letzten zehn Jahren. Berlin 1896 (Sonderabdruck aus der Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen, Bd. 44, S. 402).

E. F. Dürre, Die neueren Koksöfen. Leipzig 1892.

F. W. Lürmann, Die Leistungen und Vortheile der Semet-Solvay-Koksöfen. Osnabrück 1893.

Oscar Simmersbach, Grundlagen der Koks-Chemie. Berlin 1895.

b) Abhandlungen.

A. Scheurer-Kestner et Meunier, Recherches sur la combustion de la houille. Bulletin de la Société de Mulhouse, tome 38, p. 195, 311; tome 39, p. 385; Comptes rendus, vol. 66, p. 1047, 1220; vol. 67, p. 659, 1002; vol. 68, p. 608; vol. 69, p. 412; auszugsweise in Dingler's polyt. Journal, Bd. 196, S. 22 u. 38.

M. L. Gruner, Pouvoir calorifique et classification des houilles. Annales des mines, série 7, tome 4, p. 169; Berg- und hüttenm. Zeitung 1874, S. 96; Dingler's polyt. Journal, Bd. 213, S. 244.

C. Hilt, Die Beziehungen zwischen Zusammensetzungen und technischen Eigenschaften der Steinkohlen. Dingler's polyt. Journal, Bd. 208, S. 424; Polyt. Centralblatt 1873, S. 1018; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1873, S. 193.

Rossigneux, Fabrication du coke. Bulletin de la société de l'industrie minérale, tome 5, p. 387.

Th. Bauer, Ueber neuere Koksöfen. Glaser's Annalen, Bd. 21, S. 93.

W. Smith, The recovery of byeproducts from coal. Journal of the Iron and Steel Institute 1884, p. 517.

Zur Gewinnung von Theer und Ammoniak bei der Koksfabrikation. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 482.

Fr. Lürmann, Ueber Entgasungsräume mit continuirlichem Betriebe. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 17.

Fr. Lürmann, Neuerungen an Koksöfen. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 240.

Fr. Lürmann, Die Gewinnung der flüchtigen Produkte aus der Kohle. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 349.

Fr. Lürmann, Mittheilungen über die Fortschritte in Koksofeneinrichtungen mit besonderer Berücksichtigung der Gewinnung der Nebenerzeugnisse. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 186.

Fr. Lürmann, Koksöfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse nach Semet-Solvay. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 828.

A. Hüssener, Neuerungen in der Anlage von Koksöfen. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 397.

A. Hüssener, Die Wettverkokung zwischen dem Otto-Hoffmann-Ofen und dem Hüssener-Ofensystem. „Stahl und Eisen“ 1894, S. 1105.

Dr. Otto, Die neuesten Resultate bezüglich der Gewinnung der Nebenprodukte bei Koksöfen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 396.

Otto-Hoffmann- und Semet-Solvay-Koksöfen. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 912, 962.

Deicke, Die neuesten Formen der Koksöfen von Coppée und Hoffmann. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1891, S. 203.

B. Leistikow, Entwickelung und Gestaltung der Koksindustrie durch die Verwerthung der Nebenerzeugnisse. „Stahl und Eisen" 1892, S. 818.

Festner-Hoffmann'sche Koksöfen. „Stahl und Eisen" 1892, S. 827.

Zur Gewinnung der Nebenerzeugnisse bei der Koksfabrikation. „Stahl und Eisen" 1895, S. 59.

H. Wedding, Amerikanische Koks. „Stahl und Eisen" 1893, S. 923.

Ueber den Werth der Abhitze und des Gasüberschusses der Koksöfen. „Stahl und Eisen" 1893, S. 595.

Betrachtungen über den Verkokungsprozess. „Stahl und Eisen" 1894, S. 202, 255.

F. Brunck, Ueber ein neues Koksofensystem und dessen Entstehung. „Stahl und Eisen" 1894, S. 676.

Fortschritte in der Ausnutzung der Koksofengase. „Stahl und Eisen" 1897, S. 90.

J. Latoret, Note rétrospective sur divers systèmes de fours à coke. Revue universelle des mines, série 3, tome 40, p. 61; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1897, S. 1000.

The improved Simon-Carvès coke oven. Engineering and Mining Journal vol. 64, p. 578.

F. Muck, Ueber Bindung des Schwefels in Steinkohle und Koks und die Erzeugung von schwefelarmen Koks. „Stahl und Eisen" 1886, S. 468.

Th. M. Drown, The condition of sulphur in coal and its relation to coking. Transactions of the Amer. Inst. of Min. Eng. vol. 9, p. 656.

O. Simmersbach, Ueber den Schwefelgehalt der Koks. „Stahl und Eisen" 1898, S. 18.

J. Fulton, Die physikalischen Eigenschaften der Koks. Berg- u. hüttenm. Ztg. 1884, S. 525; aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 12, p. 212.

P. Dewey, Porosity and specific gravity of coke. Transactions of the Amer. Institute of Mining Engineers, vol. 12, p. 111.

J. L. Bell, The blast furnace value of coke. Engineering, vol. 39, p. 636 (daraus in „Stahl und Eisen" 1885, S. 297).

F. Ueber flüssige Brennstoffe.

Thieme, Petroleumfeuerung Patent Tentelew. „Stahl und Eisen" 1895, S. 738.

J. Kowarski, Naphtafeuerung. „Stahl und Eisen" 1896, S. 915.

M. Mayer, Die Oelfeuerungsanlage auf der Weltausstellung zu Chicago. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, S. 44.

G. Ueber Gase und Gaserzeugung.

a) Einzelne Werke.

L. Ramdohr, Die Gasfeuerung. 2. Aufl. Leipzig 1881.

H. Stegmann, Gasfeuerung und Gasöfen. 2. Aufl. Berlin 1881.

F. Steinmann, Compendium der Gasfeuerung. 2. Aufl. Freiberg 1876.

F. Steinmann, Bericht über die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Gasfeuerung. Berlin 1879.

C. Stöckmann, Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren. Eine einfache Methode zur Analyse derselben. Ruhrort 1876.

A. Ledebur, Die Gasfeuerungen für metallurgische Zwecke. Leipzig 1891.

A. Naumann, Technisch-thermochemische Berechnungen zur Heizung, insbesondere mit gasförmigen Brennstoffen. Braunschweig 1893.

b) Abhandlungen.

A. Carnegie, Natural gas. Engineering, vol. 39, p. 609; vol. 40, p. 36.

Brügmann, Das Vorkommen des Erdgases in Nordamerika. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1887, S. 120.

K. Sorge, Vorkommen und Verwendung des natürlichen Gases in Pittsburg. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 93.

A. Holley, On the use of natural gas for puddling and heating at Leechburg in Pennsylvania. Transact. of the Amer. Inst. of Ming. Eng., vol. 4, p. 32; Engineering and Mining Journal, vol. 22, p. 185.

Natürliches Gas in den Vereinigten Staaten Nordamerikas. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 476.

Fr. C. G. Müller, Beiträge zur Charakteristik moderner Feuerungen. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 395, 465.

W. S. Sutherland, On the most recent results obtained in the application and utilisation of gaseous fuel. Journal of the Iron and Steel Institute 1884, p. 72.

H. v. Jüptner und F. Toldt, Chemisch-calorische Studien über Generatoren und Martinöfen. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1888, S. 292; 1890, S. 428.

A. Pütsch, Ueber Gasfeuerungen. Sachliche Würdigung der in Deutschland ertheilten Patente. Zeitschr. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1880, S. 445; 1887, S. 248 (Besprechung und Abbildungen von Gaserzeugern).

Thelen, Ueber den Gröbe-Lürmann-Generator. Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1879, S. 191.

Verbesserter Gröbe-Lürmann-Generator. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1883, S. 664.

R. Åkerman, Beitrag zur Entwickelung der Frage der Heizgasgewinnung. Aus den Jernkontorets Annaler 1891 im Jahrbuche der k. k. österr. Bergakademien 1892, S. 81.

Springorum, Der Martinprocess. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 396 (enthält Mittheilungen über neuere Einrichtungen der Luftgaserzeuger).

Amerikanische Gaserzeuger. Dingler's polyt. Journal, Bd. 307, S. 113.

Prof. Erhard, Ueber die Wirkung des Wasserdampfes in Generatoren. Berg- und hüttenm. Ztg. 1881, S. 147.

Die Gewinnung von Nebenerzeugnissen aus Generatorgas. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 464.

H. Bunte, Untersuchungen über den Wassergasprocess. Deutsche Industriezeitung 1881, S. 440.

Cl. Winkler, Der „Brennstoff der Zukunft“. Jahrbuch für Berg- u. Hüttenwesen im Königreich Sachsen 1881, S. 107.

Prof. v. Marx, Das Wassergas. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1882, S. 313.

E. Blass, Ueber Wassergas. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 3.

J. R. v. Langer, Ueber Wassergas. Zeitschrift des österr. Architekten- und Ingenieurvereins 1887, S. 21.

Wassergas. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, S. 41.

Fortschritte in der Wassergaserzeugung. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1889, S. 21.

Quaglio, Fortschritte in der Darstellung und Verwendung des Wassergases. Sitzungsber. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1888, S. 123.

K. Eichhorn, Ueber den Einfluss des Wassergases beim Hüttenbetriebe auf die weitere Entwickelung der Feuerungstechnik. „Stahl und Eisen“ 1888, S. 693.

A. Wilson, Watergas as used for metallurgical purposes. Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, p. 86.

F. Siemens, Watergas as fuel for metallurgical purposes. Iron 32, p. 132.

F. Brabant, Le gaz à l'eau. Revue universelle des mines, série 3, tome 13.

M. Geitel, Ueber Wassergas und seine Verwendung in der Technik. Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. 24—26 (auch als Sonderabdruck erschienen).

Der Loomis-Wassergasprocess. „Stahl und Eisen" 1890, S. 975; 1891, S. 822.

H. Strache, Fortschritte in der Erzeugung und Verwendung des Wassergases. Zeitschr. des österr. Ingenieur- u. Architektenvereins 1894, S. 3.

H. Dicke, Fortschritte in der Erzeugung und Verwendung von Wassergas und der Wassergasgenerator von Dellwik. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1897.

Schmidhammer, Beiträge zur vortheilhaftesten Vergasung der Kohle. „Stahl und Eisen" 1889, S. 541.

P. Bayard, Beitrag zur Gasfeuerung. „Stahl und Eisen" 1894, S. 952.

A. de Boischevalier, Darstellung und Verwendung von Kraftgas. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, S. 1319.

E. Meyer, Kraftgasanlagen mit Dowsongas. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1895, S. 1523, 1537.

IV. Die Oefen und feuerfesten Baustoffe.

1. Allgemeines. Wirkungsgrad der Oefen.

Ofen nennt man eine jede Vorrichtung, in welcher durch Verbrennung Wärme entwickelt wird, um durch Abgabe an andere Körper nutzbar gemacht zu werden.

Der Form der Oefen und der Art und Weise gemäss, wie die Erhitzung geschieht, kann man verschiedene, hierunter gekennzeichnete Ofengattungen unterscheiden. Wenn die chemischen Eigenthümlichkeiten eines Verfahrens die Anwendung von Oefen verschiedener Gattung ermöglichen, pflegt der Wirkungsgrad (die Nutzwirkung) der Oefen den Ausschlag bei der Wahl zu geben, d. h. das Verhältniss der bei dem betreffenden Verfahren nutzbar gemachten Wärme zu dem Brennwerthe des verbrauchten Brennstoffs. Wenn z. B. ein Ofen den Zweck hat, Roheisen mit Koks umzuschmelzen, ohne chemische Veränderungen des Roheisens hervorzurufen, und man für 1 kg umzuschmelzendes Roheisen 0,12 kg Koks gebraucht, so ist die nutzbar gemachte Wärme diejenige, welche von dem flüssigen Roheisen und von der entstandenen, ebenfalls flüssigen Schlacke aufgenommen war und sich durch Eingiessen einer kleinen Menge des geschmolzenen Metalls und der Schlacke in Wasser bestimmen lässt, dessen Temperatur vor und nach dem Eingiessen ermittelt worden war. Der Brennwerth der Koks lässt sich annähernd mit Hülfe einer Aschenbestimmung sowie der bekannten Ziffern über die Wärmeleistungsfähigkeit der reinen Koksmasse ermitteln. Die von 1 kg flüssigen Roheisens aufgenommene Wärme betrage z. B. 280 W.-E., und für je 1 kg Roheisen möge 0,1 kg Schlacke erfolgen, welche 470 W.-E. in 1 kg enthalte; der Brennwerth von 1 kg Koks

mit 10 v. H. Asche betrage 7200 W.-E. Der Wirkungsgrad des Ofens ist in diesem Falle

$$\frac{280 + 0{,}1 \times 470}{0{,}12 \times 7200} = 0{,}37.$$

Nicht immer jedoch gestaltet sich die Ermittelung des Wirkungsgrades so einfach, wie in dem vorliegenden Falle. Soll der Ofen zur Durchführung chemischer Vorgänge verwendet werden, bei denen Wärme verbraucht oder Wärme frei wird (Reduction, Oxydation), so müssen diese Wärmemengen, die sich durch Rechnung ermitteln lassen, gebührend berücksichtigt werden. Die zur Durchführung jener chemischen Vorgänge verbrauchte Wärme ist thatsächlich nutzbar gemacht, da eben nur mit ihrer Hülfe das Verfahren möglich wurde, und kommt in den Zähler des Bruches zu der wirklich aufgenommenen, messbaren Wärme; die erzeugte Wärme kommt in den Nenner.

2. Die verschiedenen Ofengattungen.

a) Feuer.

Das Feuer bildet die älteste und einfachste Vorrichtung zum Erhitzen der Metalle. Ein Haufen Holzkohlen, zu ebener Erde oder auch in einer Vertiefung des Erdbodens aufgeschüttet und entzündet, diente ursprünglich zur Erhitzung des Metalls, welches entweder unmittelbar hineingesteckt oder, wenn Schmelzungen stattfinden sollten, in einen Tiegel eingeschlossen und mit diesem in das Feuer gestellt wurde. Einfache Gebläse dienten den vorgeschritteneren Völkern zum Entfachen der Gluth. Erhaltene Gemälde im alten Theben zeigen uns, dass schon vor mehreren tausend Jahren in Egypten Tiegelschmelzen in dieser Weise betrieben wurde,[1]) und noch heute finden wir bei manchen Naturvölkern das nämliche einfache Verfahren zum Erhitzen von Metallen in Anwendung. Als Beispiel hierfür kann das a. f. S. in Fig. 22 dargestellte Schmiedefeuer im Barilande am weissen Nil dienen.[2])

Um die Kohlen eines solchen Feuers besser zusammenzuhalten und um die reichlichen Wärmeverluste abzumindern, welche durch den rings um den Kohlenhaufen herum ununterbrochen stattfindenden Luftwechsel veranlasst werden, umgab man später die Kohlen mit einer niedrigen gemauerten Einfassung; so entstand die jetzt übliche Form des Feuers, dessen bekannteste Anwendung in jeder Schmiedewerkstatt als Schmiedefeuer zu finden ist. Hier — bei dem gewöhnlichen Schmiedefeuer — hat man der bequemeren Benutzung halber das eigentliche Feuer auf einem Unterbau von Tischhöhe angebracht; grössere Feuer pflegen zu ebener Erde angeordnet zu sein.

Feuer im Allgemeinen sind demnach niedrige, oben offene, kasten- oder grubenartige Behälter, gewöhnlich vierseitig im Grundrisse, in welchen die zur Verarbeitung bestimmten Körper durch Berührung mit

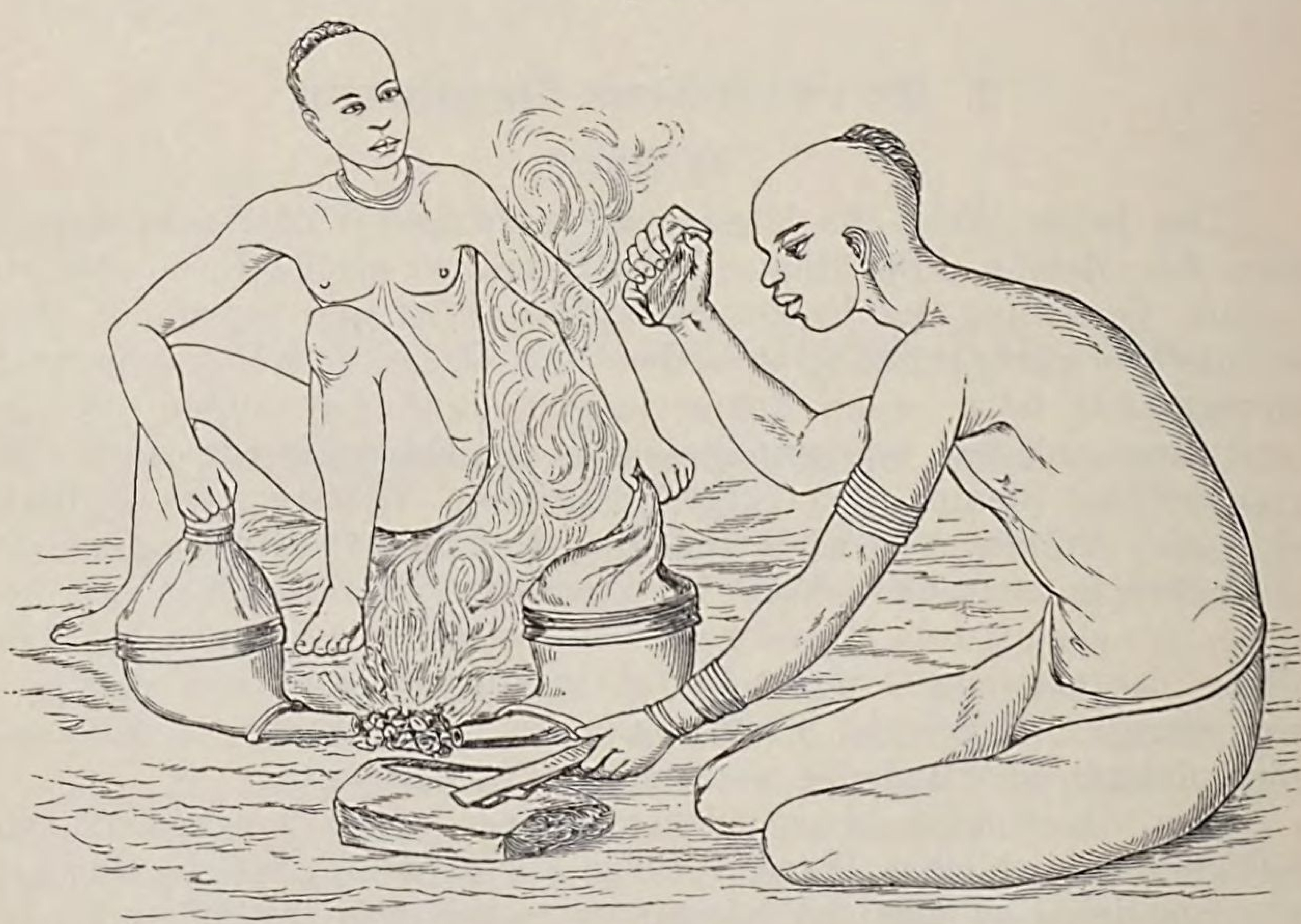
1) Eine derartige Abbildung ist wiedergegeben in Beck, Geschichte des Eisens, Band 1, Seite 75; auch Rich. Andree, Die Metalle bei den Naturvölkern, Leipzig 1884, Seite 4.

2) W. v. Harniers Reise am oberen Nil, Darmstadt 1866; daraus in Andree, Metalle bei den Naturvölkern, Seite 9.

den verbrennenden festen Brennstoffen erhitzt werden. Als Brennstoffe benutzt man gewöhnlich verkohlte (meistens Holzkohlen), im gewöhnlichen Schmiedefeuer dagegen häufiger backende Steinkohlen (Begründung hierfür Seite 68). Die Verbrennungsluft wird bei diesen Feuern ausnahmslos durch ein Gebläse zugeführt, und zwar entweder über den Rand des Feuers hinweg durch eine schräg abwärts in das Feuer gerichtete Düse oder auch von unten her in aufsteigender Richtung.

Die Wärmeabgabe ist in den Feuern sehr beschränkt. Die Verbrennungsgase, welche die grösste Menge der entwickelten Wärme aufnehmen, steigen empor und verlassen alsbald das Feuer, ohne mit dem zu erhitzenden Körper in fernere Berührung getreten zu sein; dieser kann nur durch die unmittelbare Berührung mit den verbrennenden

Fig. 22.



Kohlen und die von diesen ausgehende strahlende Wärme erhitzt werden. Ausserdem bringt es die ganze Einrichtung der Feuer mit sich, dass stets nebenbei ein reichlicher Theil Kohlen verbrannt wird, ohne mit dem Gegenstande der Erhitzung überhaupt in Berührung getreten zu sein. Der Wirkungsgrad der Feuer ist daher in jedem Falle sehr ungünstig und selten höher als 0,05, häufig niedriger.

Trotzdem sind auch noch heutzutage die Feuer in verschiedenen Fällen unentbehrlich, wenn eben nur kleine Mengen von Erz oder Metall mit einem Male der Erhitzung unterzogen werden sollen. Ihre Anlagekosten sind gering, ihre Wartung ist einfach, Grund genug, sie besonders im Kleinbetrieb häufig als die geeignetste Erhitzungsvorrichtung erscheinen zu lassen. Die Gründe, welche mitunter auch im grösseren Betriebe ihre Anwendung rechtfertigen können, werden bei Besprechung dieser besonderen Fälle Erwähnung finden.

b) Schachtöfen.

Aus dem mit gemauerter Einfassung versehenen Feuer entstand der Schachtofen, indem man jene Einfassung erhöhte, während man die Luft von unten her eintreten liess. Die Höhe der Schachtöfen ist mindestens gleich ihrem grössten Durchmesser, häufig beträchtlich grösser, ihre Hauptachse ist senkrecht. Das Ofeninnere (der Schacht) besitzt cylindrische, kegelförmige oder gebrochene Form, je nachdem der Zweck des Ofens diese oder jene Gestalt als geeigneter erscheinen lässt; der Grundriss des Schachtes ist meistens kreisförmig. Da der Kreis von allen Figuren den geringsten Umfang bei gegebener Fläche besitzt, ist auch der Wärmeverlust durch Abgabe nach aussen bei einem Schachte mit kreisförmigem Querschnitte am geringsten; wichtiger noch ist der Umstand, dass die den Schacht anfüllenden festen Körper am gleichmässigsten sich abwärts und die bei der Verbrennung entwickelten Gase am gleichmässigsten sich aufwärts bewegen, wenn der Abstand der Wände, an welchen Reibung stattfindet, von der Achse des Schachtes überall gleich, der Querschnitt also ein Kreis ist.

Wie erwähnt, findet die Verbrennung in dem unteren Theile des Schachtofens statt; die Erzeugung des Luftzuges geschieht mitunter (für langsamere Verbrennungen, z. B. in Röstöfen, oder in sehr niedrigen Oefen, z. B. Tiegelschmelzöfen) durch Essenwirkung (wobei der Ofen selbst bisweilen die Stelle der Esse vertritt), bei den meisten Schachtöfen dagegen, in denen rasche Verbrennungen stattfinden sollen und die aufsteigenden Gase grössere Widerstände finden, durch Gebläse.

In wenigen Fällen dient Gas zur Heizung des Ofens, welches alsdann neben oder unmittelbar über der Verbrennungsluft in den Ofen geleitet wird, um mit dieser sich zu mischen; häufiger benutzt man feste Brennstoffe, welche in die obere Oeffnung des Ofen, die Gicht, eingeschüttet werden und nun von hier aus allmählich abwärts sinken, um im Verbrennungsraume vergast zu werden. Wollte man in dem letzteren Falle unverkohlte Brennstoffe zur Anwendung bringen, so würden die Vorgänge ähnlich wie in einem Gaserzeuger bei Benutzung solcher Brennstoffe sein: in dem oberen Theile des Ofens würde eine Entgasung stattfinden, und unten würden sich nur entgaste, d. h. verkohlte, Brennstoffe vorfinden. Die Entgasung würde einen Wärmeverbrauch erheischen, welcher für den Zweck des Ofens mitunter hinderlich sein kann; die dabei stattfindende Formveränderung der Brennstoffe würde die Gleichmässigkeit des Niederganges beeinträchtigen, und ein besonders hohes Maass würde dieser Uebelstand erreichen, wenn man etwa backende Steinkohlen verwenden wollte. Die stattfindende Entwickelung flüchtiger Körper würde ausserdem die Gasspannung im Ofen erhöhen und das Aufsteigen der gasförmigen Verbrennungserzeugnisse erschweren. Deshalb ist es Regel, für den Betrieb der Schachtöfen verkohlte Brennstoffe zu verwenden, und die überwiegend grösste Menge aller verkohlten Brennstoffe ist für den Betrieb der Schachtöfen bestimmt. Unverkohlte, nicht backende Brennstoffe (magere Steinkohlen, Anthracite) finden ausnahmsweise Verwendung, wenn verkohlungsfähige Brennstoffe nicht zur Verfügung stehen und die Eigenthümlichkeiten des durchzuführenden Verfahrens nicht ein Hinderniss für die Anwendung bilden.

Benutzt man den Schachtofen zum Schmelzen in Tiegeln, so befinden sich die Tiegel in dem unteren Theile des Ofens unmittelbar über dem Verbrennungsraume, also da, wo die höchste Temperatur herrscht; bei allen übrigen, weit häufiger in Benutzung stehenden Schachtöfen werden die zu erhitzenden Körper in die Gicht eingebracht, um von hier allmählich sich abwärts zu bewegen in dem Maasse, wie in dem unteren Theile des Ofens eine Entfernung der erhitzten Körper aus dem Ofen bewirkt wird. Auf diese Weise kann ein ununterbrochener Betrieb eines solchen Schachtofens aufrecht erhalten werden, indem man in angemessenen Zeiträumen unten die erhitzten Körper entfernt, unter Umständen abfliessen lässt, und oben frische nachfüllt.

In allen Fällen steigen die unten gebildeten, die grösste Menge der entwickelten Wärme aufnehmenden Verbrennungsgase aufwärts, um aus der Gicht zu entweichen. Sie besitzen also die entgegengesetzte Bewegungsrichtung als die niederrückenden festen Körper, und dieser Umstand ist von Wichtigkeit für die Ausnutzung der Wärme im Ofen. Dem Gegenstromgesetze (Seite 58) wird in vollem Umfange Folge gegeben. Die aufsteigende Wärme wird durch die niederrückenden Körper aufgenommen und wieder nach unten geführt; in dem Verbrennungsraume entsteht eine hohe Temperatur (Seite 56). Diese ausgedehnte Wärmezurückführung durch die niederrückenden festen Körper erhebt den Schachtofen zu der vollkommensten aller Erhitzungsvorrichtungen, sofern die Eigenthümlichkeiten des durchzuführenden Verfahrens seine Anwendung gestatten. Sollen chemische Einwirkungen der aufsteigenden Gase und der niederrückenden Körper auf einander stattfinden (z. B. Reduction durch Kohlenoxyd), so werden auch diese durch die lange ausgedehnte gegenseitige Berührung wesentlich erleichtert.

Der Wirkungsgrad der gewöhnlichen Schachtöfen pflegt sich auf mindestens 0,30, mitunter erheblich günstiger zu beziffern. Weit niedriger ist der Wirkungsgrad der Tiegelschachtöfen. Einestheils fällt hier jene Vorwärmung des zu schmelzenden Metalls beim Niederrücken fort, anderntheils ist die Wärmeübertragung schwieriger. Selten daher erhält man beim Tiegelschmelzofen im Schachtofen einen höheren Wirkungsgrad als 0,04, häufig einen niedrigeren.

c) Flammöfen.

Später als die Feuer und Schachtöfen sind die Flammöfen in Benutzung gekommen. Sie verdanken ihre Entstehung dem Bestreben, rohe, mit Flamme verbrennende Brennstoffe (insbesondere Holz) zur Erhitzung der Körper zu benutzen, ohne diese mit dem Brennstoffe selbst in unmittelbare Berührung zu bringen. Rings um den zu erhitzenden Körper herum wurde der Brennstoff aufgehäuft, und um die Wirkung der Flamme besser zur Geltung zu bringen, wurde das Ganze durch ein Kuppelgewölbe überspannt, in welchem Austrittsöffnungen für die Gase in solcher Anordnung angebracht waren, dass die Flamme den innern Raum möglichst gleichmässig ausfüllte. Später verlegte man die Feuerung an die eine Seite des Ofens, liess aber die Gase nach wie vor durch Oeffnungen der Decke entweichen. Ein solcher Flammofen aus dem Jahre 1647, zum Schmelzen der Bronze in einer französischen

Geschützgiesserei bestimmt, ist in Fig. 23 dargestellt.[1]) *A A* ist der eigentliche Ofen; bei *D* liegt die Feuerung, aus einem vertieft angeordneten Roste bestehend, welcher von oben her durch einen mit Deckel versehenen Füllschacht bedient wird. An den beiden Längsseiten des

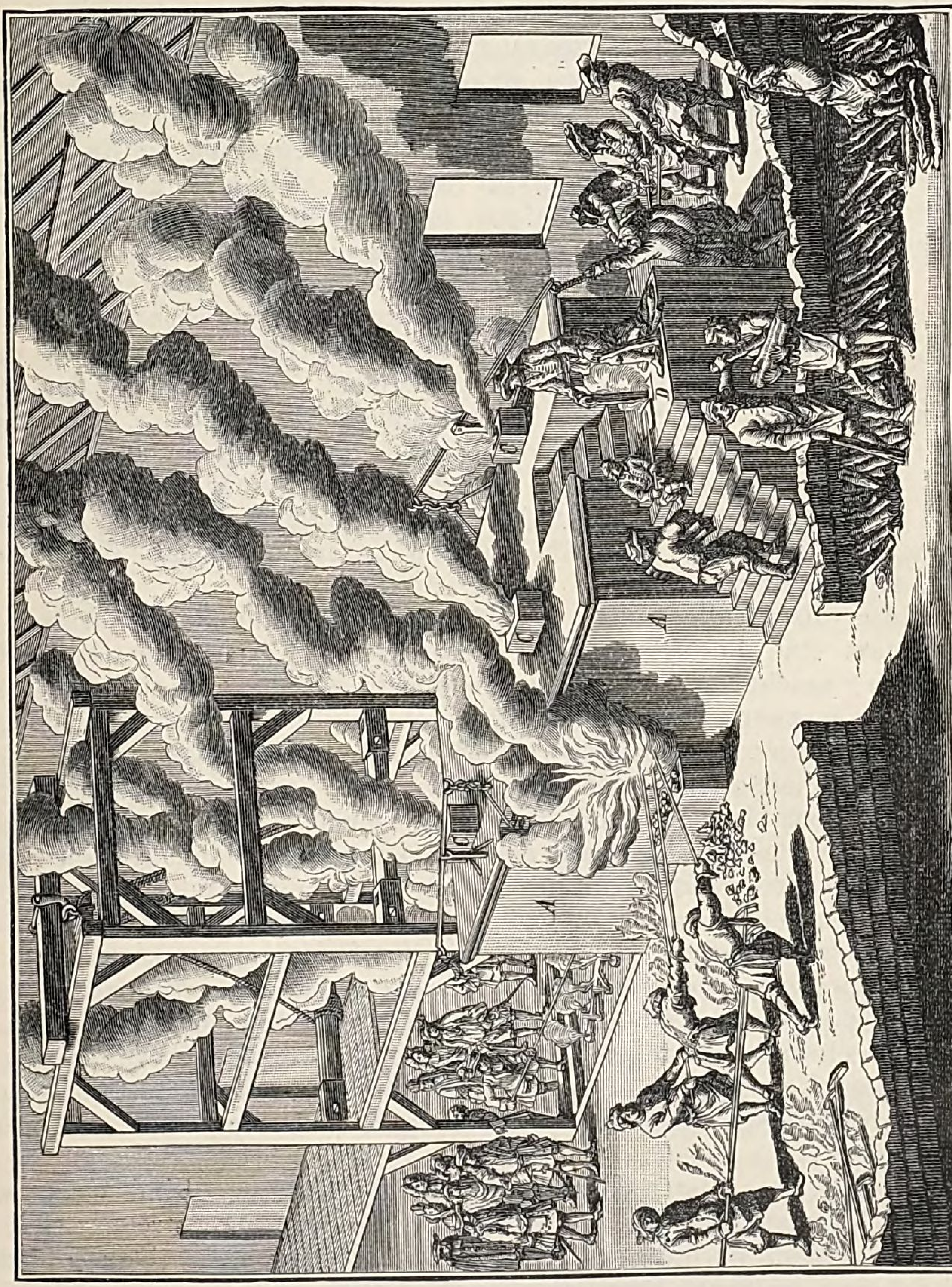


Fig. 23.

Ofens sind die Einsetzöffnungen für das Metall angebracht, durch Thüren verschlossen, welche durch Hebel mit Ketten emporgezogen werden; *C C* sind die erwähnten Austrittsöffnungen für die Gase. Die Stich-

1) Mémoires d'Artillerie 1647, daraus in The popular science monthly, vol. 38, p. 154.

öffnung befindet sich an der der Feuerung gegenüberliegenden Seite; ein Arbeiter hat sie soeben mit einer langen Stange geöffnet, und man gewahrt in der Abbildung das ausströmende Metall.

Die Zugwirkung musste in einem solchen Ofen ziemlich beschränkt bleiben; die Luft trat in ungenügender Menge zu, die Verbrennung blieb unvollständig (wie auch durch den massenhaft sich entwickelnden Rauch in der Abbildung angedeutet ist), und es war schwierig, einigermaassen hohe Temperaturen zu erzielen. Die wohlthätige Wirkung einer über den Ofen hoch hinausragenden Esse an dem der Feuerung gegenüberliegenden Ende des Ofens für die Erzeugung eines kräftigen Luftzuges und einer hohen Temperatur erkannte man erst in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts, und erst in jener Zeit wurden die Flammöfen auch für den Eisenhüttenbetrieb benutzbar.

Ein Flammofen der Jetztzeit besteht demnach aus einem nach einer wagerechten, geneigten oder gebrochenen Linie verlaufenden Kanale, an der Feuerung beginnend und in der Esse endigend, in welchem die zu erhitzenden Körper sich befinden. Zur Aufnahme der letzteren pflegt man innerhalb des Feuerkanals eine Erweiterung, den **Herd** des Ofens, anzuordnen, welche von aussen leicht zugänglich ist.

Derselbe Erfolg, welchen die Anordnung einer Esse bezweckt, lässt sich auch durch ein Gebläse erzielen, welches gepresste Luft der Feuerung von aussen zuführt und die Verbrennungsgase durch den Ofen hindurchtreibt.

Aus dieser allgemeinen Schilderung eines Flammofens erklärt es sich, dass eine Bewegung der zu erhitzenden Körper dem Gasstrome entgegen, welche im Schachtofen so günstig auf dessen Leistung wirkt, hier nur ausnahmsweise und dann auch nur in beschränktem Maasse zu erreichen ist. Die Körper befinden sich in der Regel von Anfang an in dem heissesten Theile des Ofens, den die Gase im noch hocherhitzten Zustande und ohne wieder mit jenen Körpern in Berührung zu treten, verlassen; die Gase nehmen demgemäss einen grossen Theil der entwickelten Wärme mit fort, und diese austretende Wärme lässt sich für den eigentlichen Zweck des Flammofens nur dann theilweise wieder nutzbar machen, wenn man sie zur Erhitzung der zuströmenden Verbrennungsluft oder — bei Gasfeuerung — der als Brennstoff dienenden Gase benutzt und solcherart wieder in den Ofen zurückführt. Einen theilweisen Ausgleich findet jedoch dieser unleugbare Nachtheil durch den Umstand, dass jene Abhitze des Ofens sich in zahlreichen Fällen für Nebenzwecke, z. B. Heizung von Dampfkesseln, verwenden lässt.

Neben die älteren Flammöfen mit Rostfeuerung sind im neunzehnten Jahrhunderte die Flammöfen mit Gasfeuerung getreten. Beide Gruppen zeigen in ihrer Einrichtung nicht unerhebliche Unterschiede, welche eine getrennte Besprechung erforderlich machen.

Flammöfen mit Rostfeuerung.

Der Rost liegt unmittelbar hinter dem Herde, auf welchem die grösste Wärmeentwickelung stattfinden soll. Fig. 24 und 25 zeigen in Umrisslinien die innere Einrichtung eines solchen Flammofens. *a* ist

der Rost, welcher gemäss der Beschaffenheit des Brennmaterials als Planrost, Treppenrost u. s. w. eingerichtet sein kann, a_1 die Einschüttöffnung für den Brennstoff (die Schüröffnung), c ist der Herd, dem man für Verfahren, bei denen eine Schmelzung nicht eintritt (Schweissöfen, Glühöfen), die Form einer wagerechten oder geneigten Ebene (wie in der Abbildung), bei Schmelzverfahren die Form einer Mulde zu geben pflegt. Zwischen Rostfläche und Herdfläche muss ein gewisses Verhältniss bestehen, abhängig von der Beschaffenheit des Brennstoffes und der auf dem Herde hervorzurufenden Temperatur. Bei den im Eisenhüttenbetriebe zur Anwendung kommenden Flammöfen pflegt jenes Verhältniss nicht kleiner als 1 : 4 und selten grösser als 1 : 2 zu sein. Die Länge des Herdes muss sich nach der Länge der Flamme richten, darf aber auch bei langflammigen Brennstoffen, sofern eine gleichmässig hohe

Fig. 24.

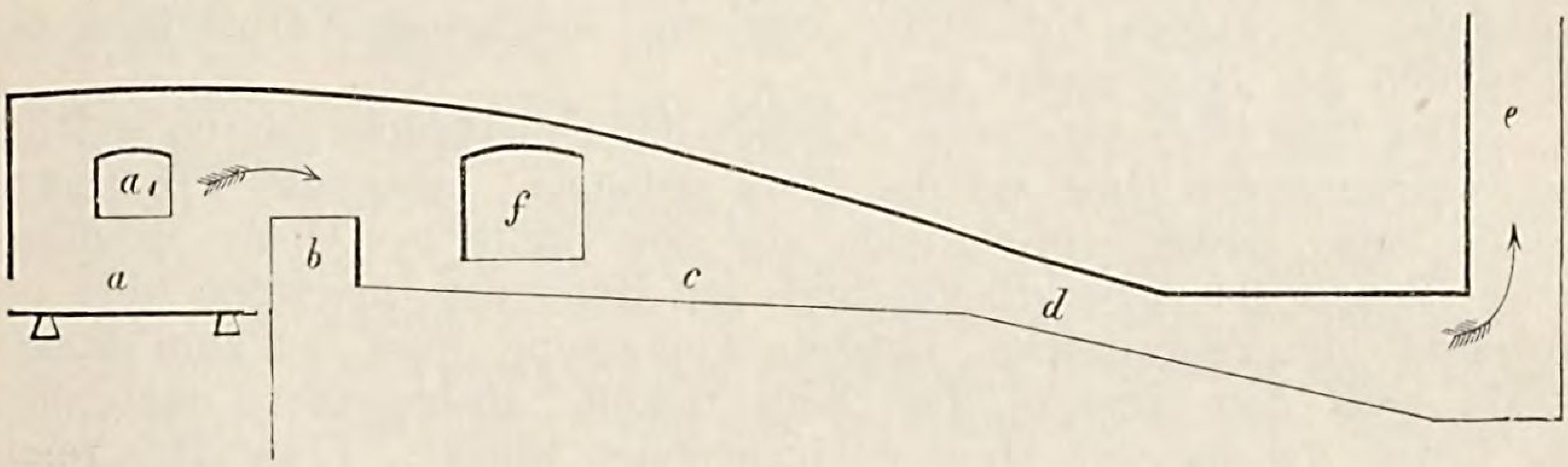
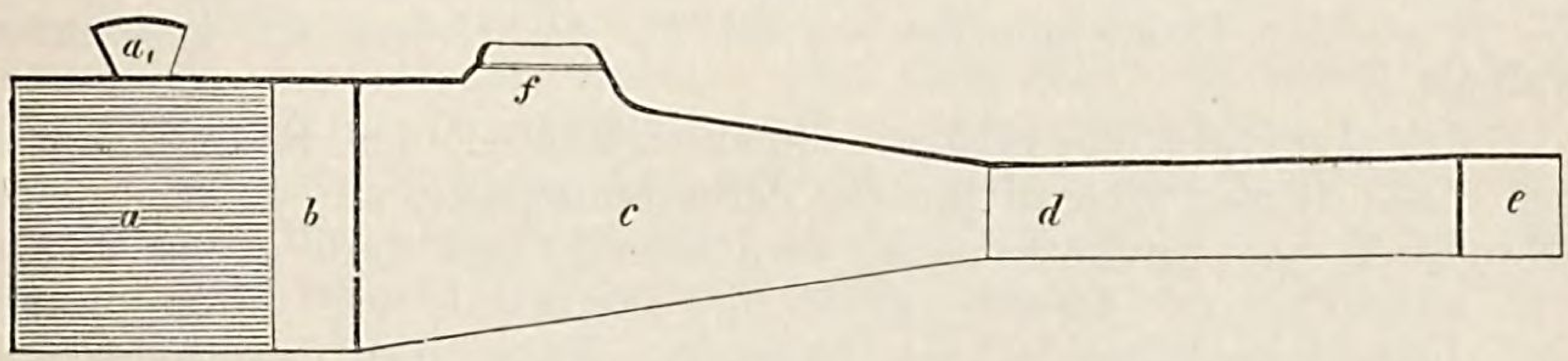


Fig. 25.



Temperatur erreicht werden soll, nicht über 4 m betragen, während in Fällen, wo dieser Bedingung nicht genügt zu werden braucht, Herdlängen bis zu 8 m zur Anwendung kommen.

Die Grenze zwischen Feuerungsraum und Herd wird durch die Feuerbrücke b gebildet. Ihre Länge (in der Breitenrichtung des Ofens gemessen) ist gleich der Breite des Rostes und der grössten Breite des Herdes. In Rücksicht auf die erforderliche Bedienung des Rostes pflegt diese Abmessung nicht über 1,5 m zu betragen; machen besondere Umstände eine grössere Breite des Rostes erforderlich, so bringt man zwei Schüröffnungen einander gegenüber an. Unzweckmässig würde es sein, dem Herde eine grössere Breite durch Ausbauchung zu geben, wenn nicht besondere Gründe eine solche Form nothwendig machen.

Je höher die Oberkante der Feuerbrücke über dem Roste liegt, eine desto höhere Schüttung kann man auf dem letzteren halten, desto geringer ist die Menge des mit den Gasen vom Roste aufsteigenden freien Sauerstoffes, desto weniger oxydirend die Flamme, aber desto geringer

auch ihre Wärmeentwickelung und die erzeugte Temperatur. Wo also Oxydation der auf dem Herde befindlichen Körper nach Möglichkeit vermieden werden soll und eine hohe Temperatur nicht erforderlich ist (z. B. bei Glühöfen für Bleche u. s. w.), bemisst man jenen Abstand reichlich (bis 1 m), will man hohe Temperaturen mit oxydirender Flamme hervorrufen, so beschränkt man ihn bisweilen auf 0,3 m oder wenig darüber.

Für die auf dem Herde befindlichen Körper bildet die Feuerbrücke einen Schutz gegen das Herunterfallen auf den Rost und gegen die unmittelbare Einwirkung der Flamme. Je höher die Feuerbrücke über die Herdoberfläche emporragt, desto mehr sind zwar die dahinter liegenden Körper vor den chemischen Einwirkungen der Flamme geschützt, aber desto mehr sind sie auch der Wärmeabgabe entzogen, desto schwieriger ist ihre Erhitzung. Deshalb findet man auch hinsichtlich dieser Abmessung Schwankungen von wenigen Centimetern bis zu 0,5 m, je nachdem eine starke Erhitzung oder eine möglichste Vermeidung der Oxydation der Hauptzweck ist.

Der freie Ofenquerschnitt oberhalb der Feuerbrücke, durch welchen die verbrennenden Gase auf den Herd gelangen, heisst das Flammenloch. Seine Grösse ergiebt sich aus der Breite des Ofens an dieser Stelle (Länge der Feuerbrücke) und der Höhe der Ofendecke über der Oberkante der Feuerbrücke. Letztere Abmessung muss sich zum grossen Theile nach dem Zwecke des Ofens richten, insbesondere auch nach der Grösse der auf den Herd zu bringenden Stücke. Eine allzu reichlich bemessene Höhe würde die Erhitzung des Herdes und der darauf befindlichen Gegenstände erschweren. Bei den meisten Oefen beträgt die Grösse des Flammenloches 0,3 bis 0,7 der Grösse der gesammten Rostfläche.

Je weiter sich die Flamme von ihrer Wurzel, dem Roste, entfernt, desto mehr häufen sich in ihr die Verbrennungsgase an, die noch übrig gebliebenen unverbrannten Gase verdünnend, und desto mehr Wärme wird allmählich der Flamme durch die Ofenwände wie durch die auf dem Herde befindlichen Körper entzogen. Wollte man den Querschnitt eines Flammofens von der Feuerbrücke an bis zum Ende des Herdes gleich gross bemessen, so würde infolge jener Umstände die Temperatur der Flamme nach dem Ausgange des Herdes zu mehr und mehr sinken und eine unvollständige Verbrennung eintreten. Damit diese Uebelstände vermieden werden, muss der Querschnitt des Ofens oberhalb des Herdes von der Feuerbrücke an stetig abnehmen; die Gase erhalten dadurch eine zunehmend beschleunigte Bewegung, ihre Abkühlung wird verringert. Am vollkommensten erreicht man diesen Zweck, wenn man die Decke des Ofens mehr und mehr der Herdsohle sich nähern lässt und zugleich, wie in der Abbildung, dem Grundrisse des Herdes Trapezform giebt. Letzteres Mittel ist nun freilich in Rücksicht auf den Zweck des Ofens nicht immer anwendbar; man ist nicht selten gezwungen, eine rechteckige oder unregelmässige Grundform zu wählen und wird dann um so mehr danach trachten, durch starke Näherung der Decke gegen den Boden jener Bedingung Rechnung zu tragen.

Die Ofendecke pflegt aus einem Gewölbe zu bestehen, welches von einer Längsseite zur andern hinübergeht. Von diesem Gewölbe

wird ein Theil der von der Flamme ausgesandten Wärme auf den Herd zurückgestrahlt, und in Rücksicht auf diesen Vorgang, dem man in früherer Zeit eine etwas übertriebene Bedeutung beilegte, pflegte man diese Oefen „Reverberiröfen“ (Rückstrahlungsöen) zu nennen. Je stärker gewölbt die Decke ist, desto mehr drängt sich die Wirkung jener Strahlung auf die Mitte des Ofens zusammen, desto ungleichmässiger muss die Erwärmung des Herdes ausfallen.

An einer dem Zwecke des Ofens entsprechenden Stelle befindet sich die Einsetzöffnung *f*, welche durch eine, gewöhnlich zum Afuziehen eingerichtete, eiserne Thür, mit feuerfestem Futter an der Innenseite, geschlossen gehalten wird.

An dem Ende des Herdes erreicht nun jene nothwendige Abnahme des Ofenquerschnitts ihr höchstes Maass; die Gase treten hier in einen stark verengten Kanal *d* ein, welcher sie aus dem Ofen entführt und der Fuchs genannt wird. Für die Aufrechterhaltung einer hohen und gleichmässigen Temperatur im Ofen ist ein geringer Querschnitt des Fuchses erspriesslich, und man pflegt dafür nicht mehr als $^1/_{10}$ bis $^1/_6$ der gesammten Rostfläche zu rechnen. Je enger aber der Fuchs ist, desto grösser sind die Widerstände, welche die Gase hier finden, desto grösser muss also auch die Zugwirkung der Esse sein, welche schliesslich die Gase aufnimmt. Ist der Abzugskanal lang, so empfiehlt es sich deshalb, jene Verengung auf eine kürzere Abmessung am Ausgange des Herdes zu beschränken und von hier aus wieder eine Erweiterung eintreten zu lassen.

Um die Wirkung des Fuchses zu verstehen, braucht man sich nur die Wirkung eines Lampencylinders zu vergegenwärtigen, in welchem sich oberhalb des Dochtes eine Querschnittsverengung befindet. Die Gase und die beigemischte Luft werden gezwungen, in stark zusammenlaufender Richtung und mit zunehmender Geschwindigkeit dorthin zu eilen und sich dabei innig zu mischen; die Wände des Fuchses sind bei dem raschen Hindurchströmen der Gase hoch erhitzt und wirken dadurch auch erhitzend auf die rückwärts gelegenen Theile des Ofens; alle diese Umstände vereinigen sich, die schliessliche vollständige Verbrennung der im Gasstrome noch vorhandenen unverbrannten Theilchen zu bewirken. Bei einem zu weiten Fuchse entsteht ebenso wie bei einem zu weiten Lampencylinder eine rauchende Flamme.

Die Lage des Fuchses ist nicht immer die nämliche wie bei dem gezeichneten Ofen. Mitunter, wenn man eine allzu kräftige Einwirkung der Gase auf den zu erhitzenden Körper vermeiden will, legt man ihn in die Decke des Ofens, so dass die Gase nach oben abziehen; in anderen Fällen führt man ihn senkrecht vom Herde aus nach unten und lässt die Gase wohl unter dem Herde zurückströmen, um diesen auch von unten zu erwärmen. Will man dagegen die abziehenden Gase noch zur Dampfkesselheizung benutzen, so legt man den Dampfkessel zwischen Fuchs und Esse. Statt jedem Ofen eine eigene Esse zu geben, pflegt man in solchen Fällen eine gemeinschaftliche Hauptesse für eine grössere Zahl von Oefen und Kesseln anzulegen, welcher die Gase durch unterirdische Kanäle zugeführt werden. Ebenso kann man zwei oder noch mehr Oefen neben einem gemeinschaftlichen Dampfkessel anordnen,

indem man ihre Gase sich vereinigen lässt. Während für die Esse eines einzelnen Ofens ohne eingebauten Dampfkessel gewöhnlich eine Höhe von 15—20 m ausreicht, pflegt man solchen Hauptessen Höhen von mindestens 40—50 m zu geben, ihren Querschnitt aber derartig zu bemessen, dass die Gase innerhalb der Esse sich mit mindestens 2 m Geschwindigkeit in der Secunde fortbewegen, und dass diese Geschwindigkeit auch dann nicht unterschritten wird, wenn einige der Oefen kalt liegen sollten.[1] Für die Wirkung einer solchen Hauptesse ist es von Wichtigkeit, dass die verschiedenen Gasströme in paralleler Richtung eintreten, damit nicht durch den Stoss der aufeinander treffenden Gase eine Stauung entstehe. Wo also Kanäle von verschiedenen Richtungen einmünden, scheidet man sie durch eine in die Esse eingebaute senkrechte Zwischenwand von solcher Höhe, dass sie eine gleichmässige aufwärts gerichtete Bewegung erlangt haben, ehe die Vereinigung stattfindet.

Eine Zurückführung der abziehenden Wärme durch Vorwärmung der Verbrennungsluft findet bei diesen Flammöfen nicht statt; sie würde aus den auf Seite 102 erläuterten Gründen zwecklos sein.

Nicht selten betreibt man diese Oefen mit Unterwind, d. h. man leitet zur Verstärkung der Essenwirkung Gebläsewind unter den mit geschlossenem Aschenfall versehenen Rost. Man wird hierdurch, wie bei den mit Gebläse betriebenen Gaserzeugern (Seite 111), unabhängiger von den Zufälligkeiten, welche bei alleiniger Benutzung des Essenzuges die Menge der zutretenden Luft bedingen, insbesondere auch von dem Einflusse der wechselnden Schütthöhe des Brennstoffs auf dem Roste, und dieser Vortheil zeigt sich um so deutlicher, je kleinstückiger der zur Verwendung stehende Brennstoff ist. Da also jene Menge der zutretenden Luft geringeren Schwankungen unterliegt, als ohne die Benutzung eines Gebläses, ist auch der zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung erforderliche Luftüberschuss durchschnittlich geringer als in dem anderen Falle. Je geringer aber der Luftüberschuss ist, desto höher ist die Verbrennungstemperatur, desto leichter findet Wärmeabgabe statt und desto geringer ist die Menge der entweichenden Gase, welche Wärme entführen, desto günstiger also die Ausnutzung der Wärme.[2] Man ist demnach nicht selten im Stande, durch Anwendung von Unterwind bei den Flammöfen mit Rostfeuerung Brennstoff zu sparen. Je aschenreicher aber der Brennstoff ist, desto häufiger muss der Rost gereinigt werden; jede derartige Reinigung ist bei den Oefen mit Unterwind umständlicher als bei denen mit Essenzug, weil bei ersteren der geschlossene Aschenfall geöffnet werden muss und hierbei eine Unterbrechung der Windzuführung eintritt. Daher findet man die

1) Die Geschwindigkeit der Gase ergiebt sich bei gegebenem Durchgangsquerschnitte aus der Menge des in der Zeiteinheit verbrannten Brennstoffs und ihrer Temperatur. Unter Berücksichtigung des für die vollständige Verbrennung unvermeidlichen Luftüberschusses liefert 1 kg Steinkohle etwa 17 cbm, 1 kg Braunkohle etwa 15 cbm Verbrennungserzeugnisse von Null Grad Temperatur. Die Gase treten in den meisten Fällen mit einer Temperatur von 250—300° C. in die Esse ein, wobei ihr Rauminhalt sich gemäss der bekannten Formel $V_1 = V\ (1 + 0{,}00366\ t)$ vergrössert.

2) Beobachtungen im Betriebe über Anwendung von Unterwind: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 169.

Anwendung von Unterwind besonders in solchen Gegenden, wo aschenarme Brennstoffe zur Verfügung stehen.[1])

Die Spannung des unter den Rost tretenden Windes darf nur gering sein, geringer als bei den Luftgaserzeugern mit Unterwind, bei denen eine höhere Brennstoffschüttung zu durchdringen ist. Man findet bei verschiedenen Oefen eine Windspannung 10—50 mm Wassersäule, abweichend nach der Stückgrösse des Brennstoffs, den Widerständen, welche die Verbrennungsgase bei ihrer Fortbewegung finden, und der Saugwirkung der Esse. Ein einfaches Gebläse genügt demnach zur Lieferung der erforderlichen Windmenge von entsprechender Spannung. Wo nur einzelne Flammöfen mit Unterwind betrieben werden sollen, bedient man sich mitunter eines Dampfstrahlgebläses, welches neben dem Aschenfalle aufgestellt ist; für eine grössere Zahl von Oefen ist ein gemeinschaftliches Flügelrad- oder Kapselgebläse zweckmässiger.

Flammöfen mit Gasfeuerung.

Allgemeines. Aeltere Gasflammöfen.

Unter den verschiedenen Arten der Brenngase kommt für die Heizung der Flammöfen des Eisenhüttenbetriebes vorzugsweise das Luftgas zur Anwendung; seit dem Jahre 1840, in welchem man, angeregt durch die von Faber du Faur erlangten günstigen Erfolge bei Benutzung von Hochofengichtgasen (Seite 101) dazu überging, Luftgas darzustellen, ist die Zahl der mit diesem Gase geheizten Flammöfen von Jahr zu Jahr gewachsen. Die Vortheile, welche bei Benutzung des Luftgases an Stelle der rohen Brennstoffe sich erreichen lassen, wurden schon auf Seite 101 ausführlicher besprochen.

Naturgas besitzt, wie schon erwähnt wurde, nur in Nordamerika Bedeutung als Brennstoff des Eisenhüttenbetriebes; auch das durch Verdampfung flüssiger Brennstoffe erzeugte Gas (Seite 100) kann nur in einzelnen, früher genannten Bezirken Verwendung finden. Hochofengichtgas wird nur für ganz bestimmte Zwecke (Dampfkesselfeuerungen, Erhitzung des Gebläsewindes der Hochöfen, vereinzelt auch zum Rösten der Eisenerze) verwendet; Wassergas aber ist aus den früher besprochenen Ursachen vorläufig zu kostspielig, um als Heizmaterial für Flammöfen in grösserem Umfange Benutzung erlangen zu können.

Das in Folgendem über die Einrichtung der Flammöfen mit Gasfeuerung Gesagte bezieht sich deshalb vornehmlich auf die Benutzung des Luftgases. Im Uebrigen würden die erforderlichen Aenderungen in der Einrichtung nicht erheblich sein, wenn eine andere Gasart zur Verwendung gelangen sollte.

Ziemlich mannigfache Wandlungen hat die Einrichtung dieser Flammöfen in den sechzig Jahren erfahren, welche seit ihrer Einführung verflossen sind.

Die früher besprochene Thatsache, dass Gase leichter und mit geringerem Luftüberschusse als feste Brennstoffe zu verbrennen sind, und dass man bei Benutzung gasförmiger Brennstoffe erwärmte Ver-

1) Eine Einrichtung des Rostes, welche seine Reinigung ohne jedesmaliges Oeffnen des Aschenfalls ermöglicht und sich gut bewährt haben soll, ist in „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 229 beschrieben und abgebildet.

brennungsluft zur Anwendung bringen und dadurch die Verbrennungstemperatur entsprechend steigern kann, gab zunächst häufige Veranlassung, Gasfeuerung da anzuwenden, wo geringwerthigere Brennstoffe — Holz, Torf, Braunkohlen — zur Verwendung standen, welche bei der Verbrennung auf dem Roste nicht geeignet sind, hohe Verbrennungstemperaturen zu erzeugen. Diese älteren Gasflammöfen, welche in den österreichischen Alpenländern, am Harze, in Schweden u. a. a. O. eine ziemliche Ausbreitung fanden, wurden grösstentheils mit Hülfe eines Gebläses, d. h. mit Unter- und Oberwind, betrieben; wenn Holz oder Torf als Brennstoff diente, pflegte man durch vorausgehendes Darren den reichlichen Feuchtigkeitsgehalt auszutreiben (Seite 61, 63). Zur Erhitzung des Oberwindes (der Verbrennungsluft) dienten eiserne Röhren, durch welche der Wind hindurchströmte und welche häufig so angeordnet waren, dass sie zugleich eine Kühlvorrichtung für stark erhitzte Theile des Ofenmauerwerkes bildeten.[1])

Seit Beginn der sechziger Jahre verschwanden indess jene älteren Oefen zum grössten Theile ziemlich rasch. Das Darren wasserreicher Brennstoffe erfordert umfängliche Anlagen und nicht unbeträchtliche Ausgaben für Löhne; durch die Ausdehnung der Verkehrsmittel hatte man vielfach die Gelegenheit erlangt, werthvollere Brennstoffe — Stein- und Braunkohlen — zu verhältnissmässig niedrigen Preisen auch in solchen Gegenden zu beziehen, welche weit von der Gewinnungsstätte der Erze entlegen waren, und man hatte erkannt, dass selbst bei Benutzung von Steinkohlen als Heizmaterial die vorausgehende Vergasung häufiger zweckmässiger sei als ihre Verbrennung auf dem Roste. Die Anwendung von Gebläsewind zur Verbrennung des Gases aber erwies sich als entbehrlich, sofern eine Esse mit genügender Zugwirkung vorhanden war,[2]) und statt der eisernen, einer raschen Abnutzung unterworfenen Röhren zur Erhitzung der Verbrennungsluft benutzte man den Ofen selbst, indem man die Luft durch erhitzte Theile desselben hindurchführte.

Nach diesen allgemeinen Grundsätzen sind sämmtliche neueren Gasfeuerungen eingerichtet, wie aus den nachfolgenden Beispielen sich ergeben wird.

Die Siemensfeuerungen.

Allgemeine Anordnung. Die wesentliche Eigenthümlichkeit dieser von den Gebrüdern Wilhelm Siemens in London und Friedrich Siemens in Dresden gegen das Jahr 1860 eingeführten und bald zu hoher Bedeutung gelangten Feuerungen beruht auf der Anordnung von zwei Paar Wärmespeichern (früher Regeneratoren genannt), d. i.

1) Abbildungen solcher älterer Gasflammöfen: Zeichnungen der Hütte, 1860 Tafel 18, 1861 Tafel 16 d, e; Ledebur, Gasfeuerungen, Fig. 3, 4, 5; „Stahl und Eisen" 1895, Seite 7.

2) Offen bleibt jedoch die Frage, ob nicht die Benutzung eines Gebläses auch für die Zuführung der Verbrennungsluft (des Oberwindes) zweckmässiger sei, als die alleinige Benutzung des Essenzuges für diesen Zweck. Man wird durch Anwendung von Gebläsewind unabhängig von den Zufälligkeiten, welche die Stärke des Essenzuges beeinflussen; die Esse braucht weniger hoch zu sein, und die Gase können im stärker abgekühlten Zustande der Esse zugeführt werden. Vergleichende Versuche hierüber scheinen bislang zu fehlen.

Kammern, aus feuerfesten Steinen gebaut und mit feuerfesten Steinen in solcher Weise ausgesetzt, dass eine grosse, den Gasen dargebotene Oberfläche entsteht, der Durchzug der Gase aber nicht gehemmt wird.[1]) An jedem Ende des Ofens ist ein Paar dieser Wärmespeicher angeordnet. Durch das eine Paar strömen die abziehenden, noch heissen Gase des Ofens hindurch, sie erwärmend, d. h. Wärme in ihnen aufspeichernd; nach Verlauf einer bestimmten Zeit, wenn die Temperatur in den Kammern entsprechend gestiegen ist, wird umgesteuert, d. h. der Gasstrom erhält entgegengesetzte Richtung als zuvor. Das vom Gaserzeuger kommende Gas strömt durch den einen, die Verbrennungsluft durch den zweiten der zuvor erhitzten Wärmespeicher nach dem Ofen, hierbei Wärme aufnehmend; im erhitzten Zustande treffen Gas und Luft zusammen, und sie vereinigen sich unter Entwickelung einer hohen Temperatur. Die aus dem Ofen abziehenden Gase aber heizen nunmehr die gegenüberliegenden Kammern, bis auf's Neue umgesteuert wird.

In den Abbildungen eines Siemensofens Fig. 26—29 sind AA_1, BB_1 die Wärmespeicher, und zwar dienen die schmaleren AA_1 zum Erhitzen des Gases, die breiteren BB_1 zum Erhitzen der Luft. Zwei Umsteuerungsvorrichtungen, bei dem abgebildeten Ofen Klappen, *cd* (Fig. 27) dienen dazu, der Luft und dem Gase, deren Zulass durch Anheben der über den Klappen angebrachten Ventile ermöglicht wird, die wechselnde Richtung zu geben; *c* ist die Luftklappe, *d* die Gasklappe. Beide Klappen stehen parallel und werden gleichzeitig durch Bewegung des Hebels *e* (Fig. 29) umgeschaltet. Zu diesem Zwecke ist *e* auf dem Ende einer wagerechten Welle befestigt, von welcher aus je ein Hebel *f* nebst Zugstange *g* die Bewegung auf den Hebel *h* überträgt, der auf der verlängerten Drehungsachse jeder Klappe befestigt und zur grösseren Sicherung der Bewegung mit einem Gewichte versehen ist (in Fig. 27 sind die Gewichte der beiden Klappenhebel erkennbar). In derjenigen Stellung der Klappen, welche in Fig. 29 veranschaulicht ist, strömt das von oben kommende Gas nach links durch den Kanal *l* in den Wärmespeicher *A*, die Luft durch den Kanal *m* (Fig. 28) in den Wärmespeicher *B*. Oberhalb des Herdes *C* des Ofens findet die Vereinigung von Gas und Luft statt; die Verbrennungsgase ziehen durch A_1 und B_1 abwärts, treten durch die Kanäle *n* und *o* unter die Klappen und vereinigen sich in dem gemeinschaftlichen Essenkanal *p*. Soll gewechselt werden, so dreht man die Klappen vermittelst der erwähnten Hebel um 90°; Gas und Luft sind nun gezwungen, nach rechts durch die Kanäle *o* und *n* in die Wärmespeicher A_1 und B_1 zu ziehen, während die Verbrennungsgase von links her zurückkehren und wie vorhin durch den Kanal *p* entweichen.

Da in jedem Falle Umsteuerung stattfinden muss, lange bevor die in den Wärmespeichern abgegebene Wärme verbraucht ist, lässt sich im Anfange des Betriebes eines Siemensofens zunächst bei jedem Wechsel auch eine Temperatursteigerung erzielen. Anfänglich treffen Gas und

1) Der den Siemensöfen zu Grunde liegende Gedanke war schon seit Anfang dieses Jahrhunderts mehrfach ausgesprochen worden, ohne Verwerthung zu finden. Näheres hierüber: Polytechn. Centralblatt 1872, Seite 1441; Berg- und hüttenm. Zeitung 1873, Seite 27; Zeitschr. d. österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1886, Heft 1.

Luft im kalten Zustande aufeinander. Die Verbrennung ist unvollkommen, die Verbrennungstemperatur niedrig. Die abziehenden Gase geben einen Theil ihrer Wärme an die Wärmespeicher ab, vermögen aber selbstverständlich diese nicht auf eine höhere Temperatur zu erwärmen, als sie selbst besitzen. Nun wird umgesteuert. Gas und Luft werden vorgewärmt, wenn auch vorläufig noch nicht sehr bedeutend. Immerhin steigt die Verbrennungstemperatur; durch die heisseren Gase werden auch die gegenüberliegenden Wärmespeicher stärker als die ersten beiden erhitzt. Nach abermaligem Wechsel muss demnach die Temperatur wiederum zunehmen u. s. f., bis die eintretende Dissociation (Seite 39) schliesslich in jedem Falle einer weiteren Temperatursteigerung ein Ziel setzt. Solcherart ermöglichen es die Siemensfeuerungen, bei entsprechender Regelung des Gas- und Luftzutritts die höchsten unter gewöhnlichen Verhältnissen überhaupt erreichbaren Temperaturen hervorzubringen, sofern der Brennstoffaufwand dem stattfindenden Wärmeverbrauche entspricht. Es folgt aber auch aus jener Schilderung der Wirkungsweise eines Siemensofens, dass dieser erst nach längerem Heizen seine Vorzüge zur Geltung zu bringen vermag und keineswegs in solchen Fällen am Platze sein würde, wo nur ein auf kurze Zeitdauer beschränkter Betrieb stattfindet (z. B. in Eisengiessereien, deren Schmelzöfen nur auf wenige Stunden in Betrieb gesetzt und dann wieder kalt gelegt werden).

Durch den Augenschein lassen sich jene Verbrennungsvorgänge verfolgen. Nach dem Anheizen ist die Flamme lang und dunkelroth; nach dem ersten Anfeuern wird sie kürzer und heller, endlich blendend weiss. Wird aber nunmehr die Dissociationstemperatur erreicht, so verlängert sich die Flamme wieder und fliesst, wie W. Siemens sich ausdrückt,[1] wolkenartig dahin, erst in den Wärmespeichern ihr Ende findend. Durch Verminderung des Gas- und Luftzuflusses, also des Verhältnisses zwischen Wärmeentwickelung und Wärmeverbrauch, würde man der Entstehung jener allzu heissen Flamme entgegenwirken können.

Damit der Ofen den erforderlichen Zug besitze, dürfen die Gase nicht allzu abgekühlt in die Esse eintreten. Als geringste erforderliche Temperatur der Gase beim Eintritte in die Esse pflegt man 150° C. anzunehmen; meistens sind sie jedoch erheblich wärmer.[2])

Je grösser die in den Wärmespeichern bei bestimmter Temperatur angesammelte Wärmemenge ist, desto langsamer sinkt diese Temperatur beim Hindurchziehen des kalten Gases oder der Luft, desto weniger frühzeitig braucht auf's Neue gewechselt zu werden. Jene Wärmemenge aber ist von der specifischen Wärme des Materials, aus welchem die Kammern gebaut sind, der Grösse der Kammer und der dargebotenen Oberfläche abhängig. Die specifische Wärme ist bei allen Wärmespeichern, da man sie aus dem nämlichen Materiale (feuerfesten Ziegeln) herzustellen pflegt, annähernd gleich (0,25 bis 0,23) und kann daher bei den folgenden Erwägungen ausser Betracht bleiben.

1) Dr. W. Siemens, Einige wissenschaftlich-technische Fragen der Gegenwart. Berlin 1879. Seite 75.

2) v. Jüptner fand z. B. bei Martinöfen eine Temperatur der Essengase von 500° C. (Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1888, Seite 386).

Fig. 26. Schnitt nach A-B.

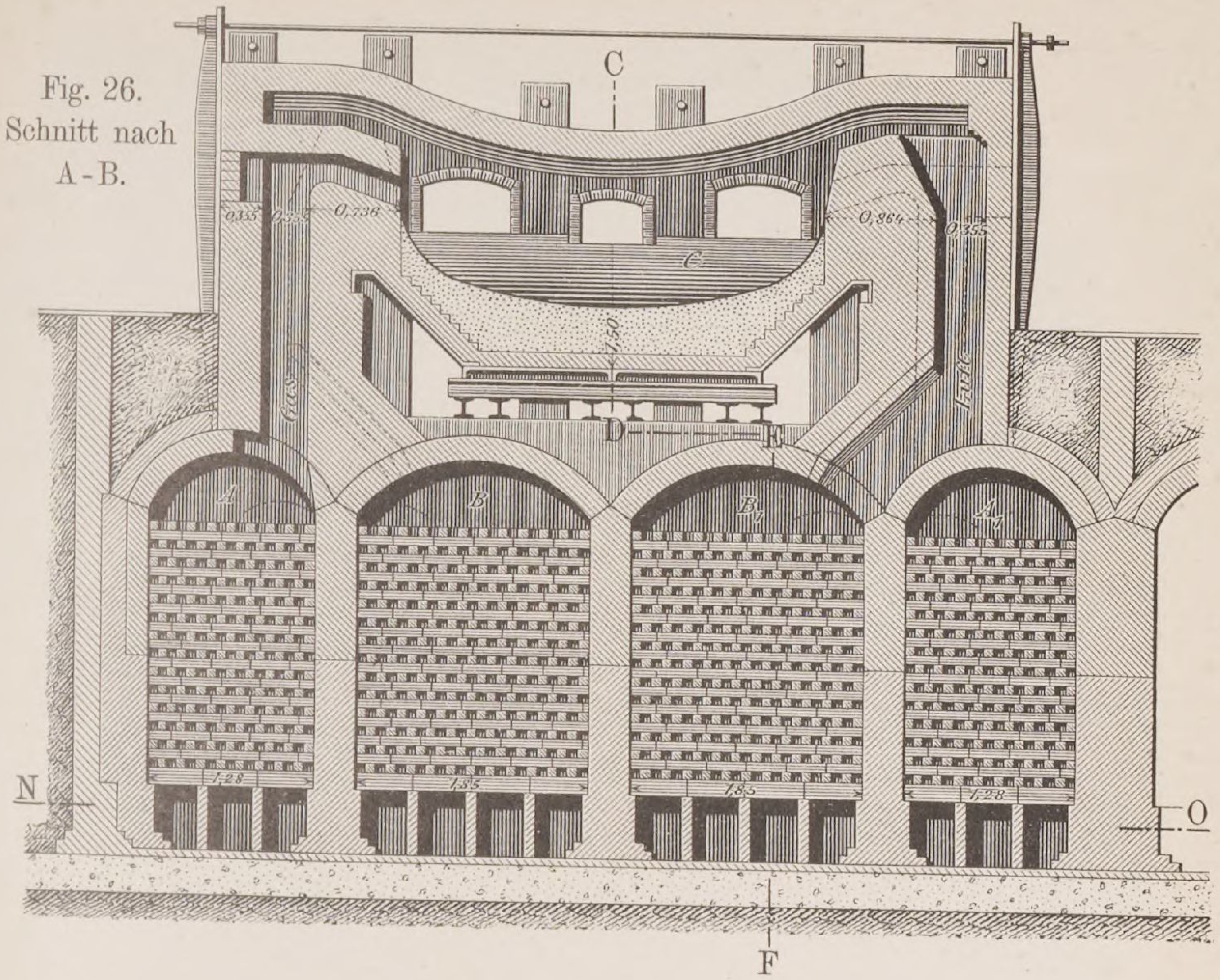


Fig. 27. Schnitt nach C-D-E-F.

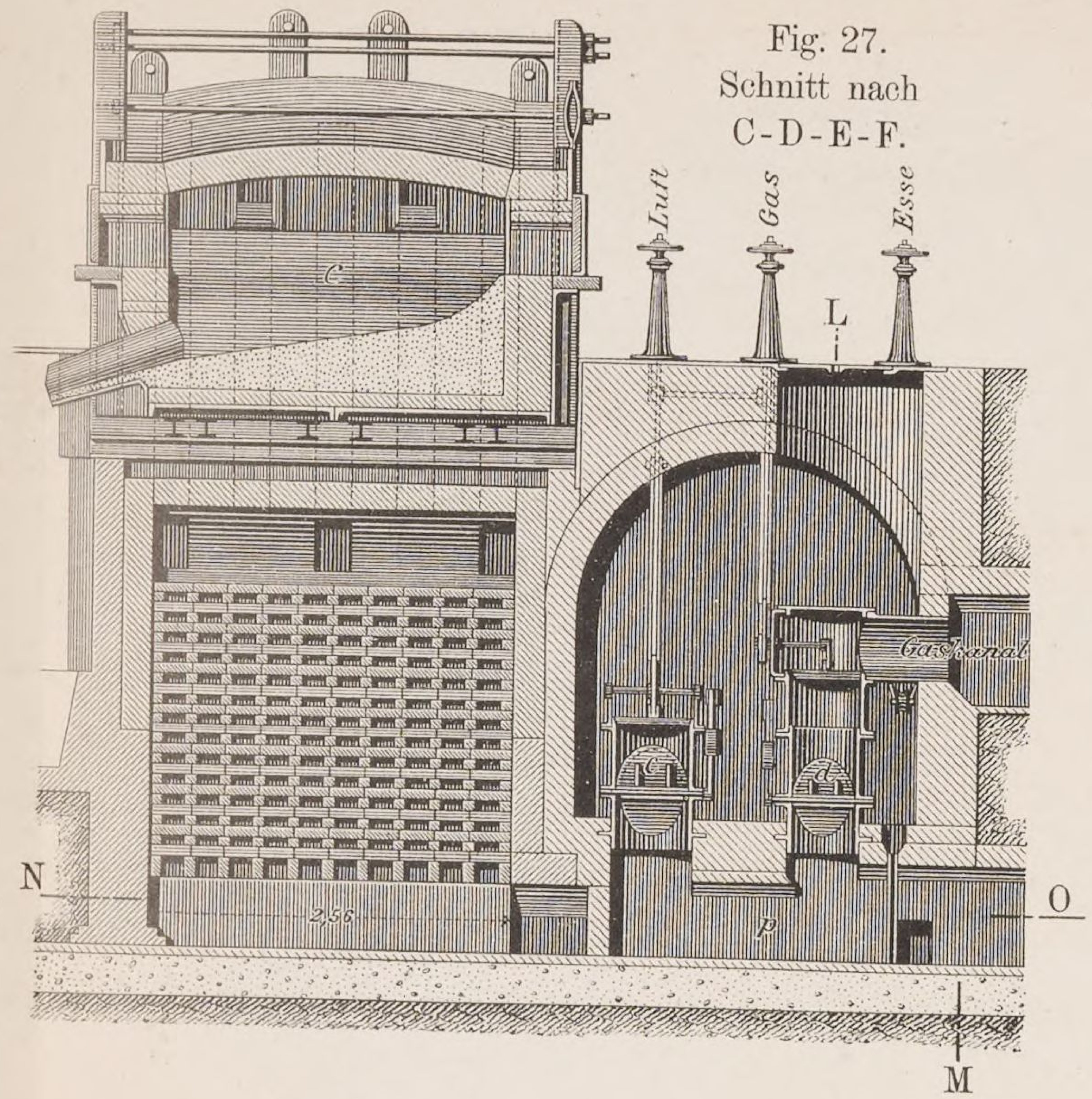


Fig. 28. Schnitt nach N—O.

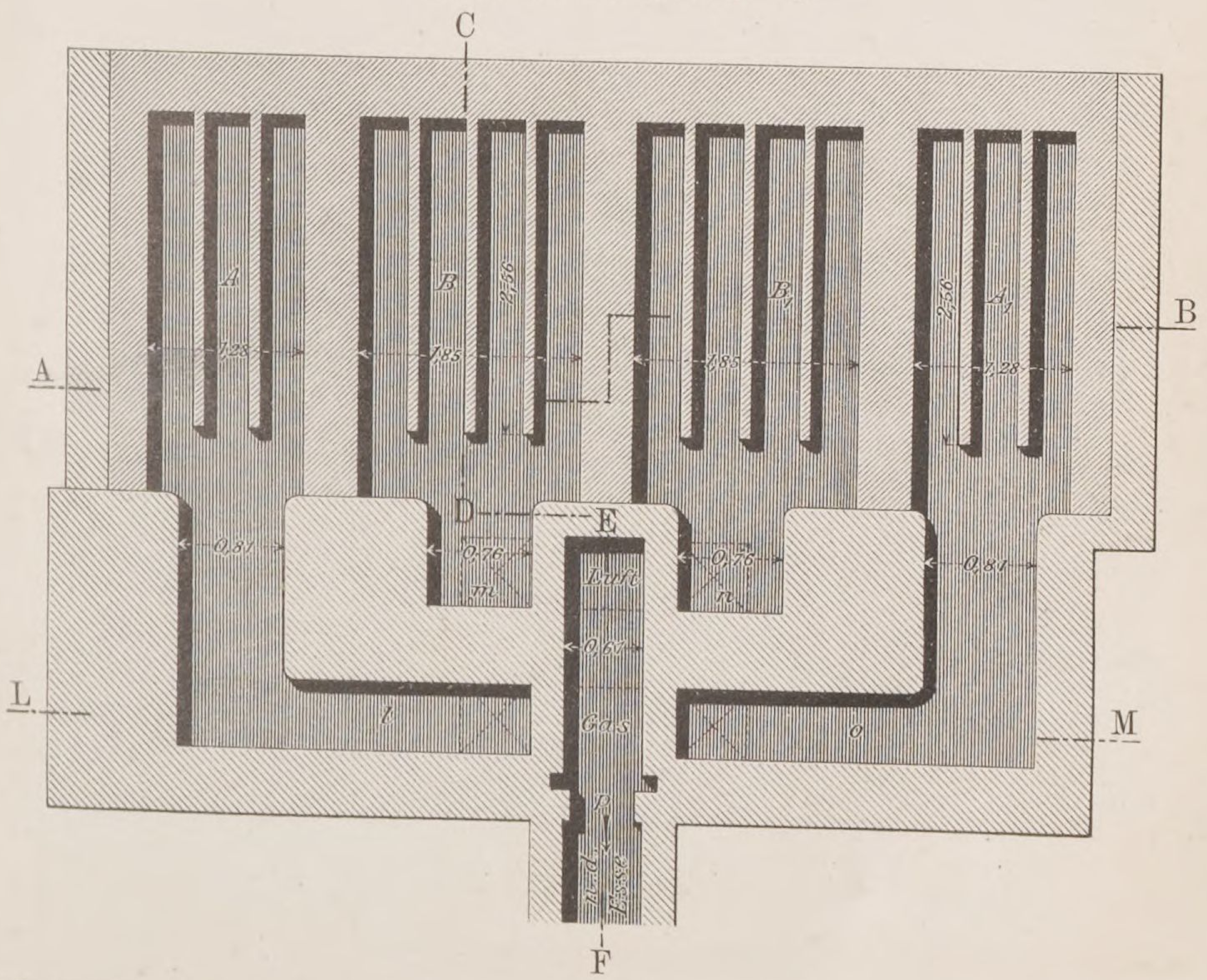
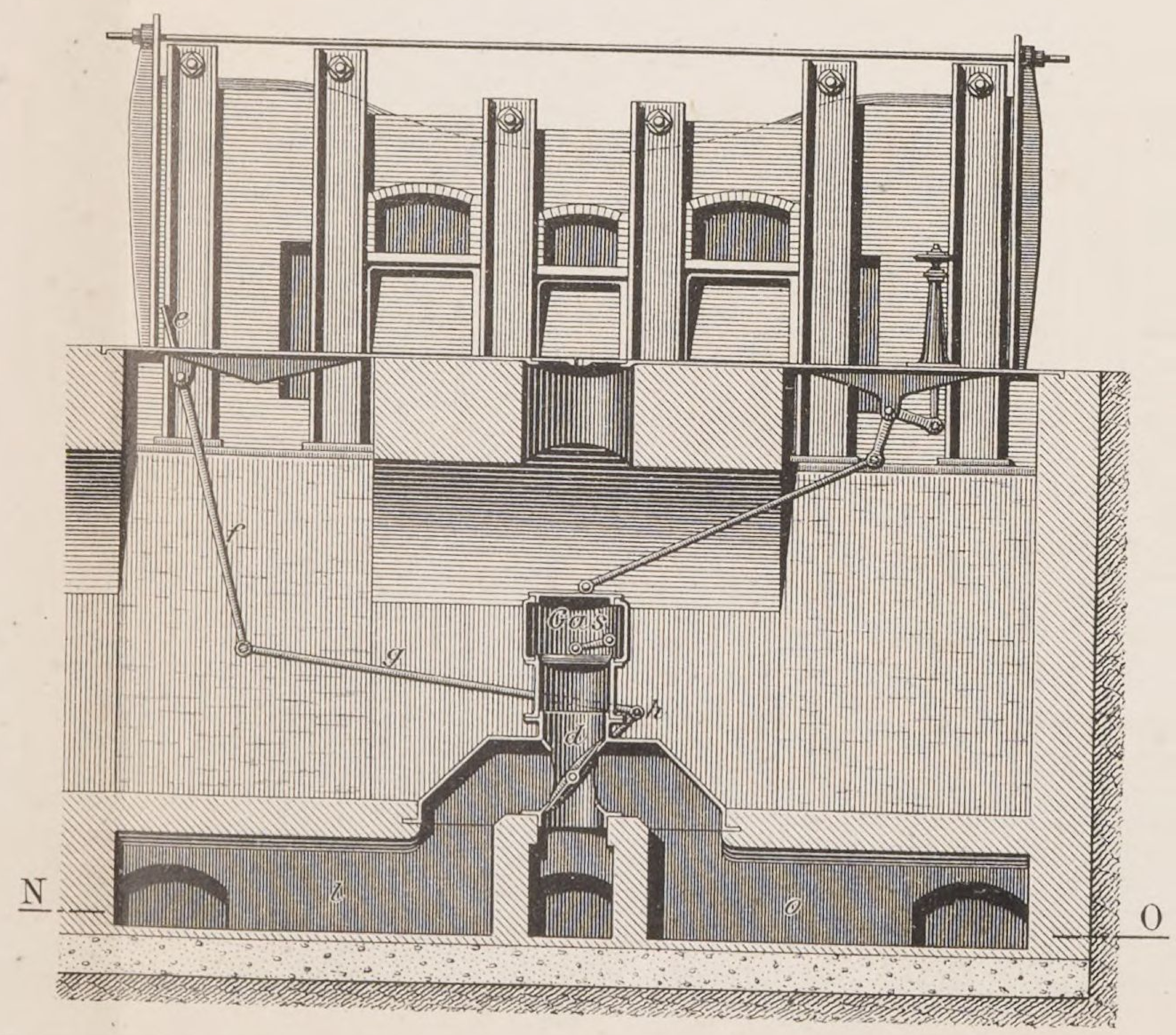


Fig. 29. Schnitt nach L—M.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Vorzugsweise ist es die den Gasen und der Luft dargebotene Oberfläche, von welcher die Leistung des Wärmespeichers abhängt; je grösser diese Oberfläche ist, desto grössere Wärmemengen werden den hindurchziehenden heissen Gasen entzogen, desto gleichmässiger fällt die Erhitzung der einzelnen Steine aus, und desto leichter erfolgt später die Erhitzung der zuströmenden kalten Gase. Man setzt daher, wie schon erwähnt wurde, um eine möglichst grosse Oberfläche zu erzielen, die einzelnen Wärmespeicher in solcher Weise mit feuerfesten Ziegeln aus, dass diese eine grosse freie Oberfläche erhalten, ohne den Durchzug der Gase zu hemmen. Fig. 30 und 31 zeigen eine übliche Anordnung dieser Steine. *aaa* sind die Kanäle, durch welche Gas oder Luft zuströmen und später die Verbrennungsgase nach der Esse abziehen (vergl. auch den Grundriss in Fig. 28). Sie sind durch hochkantig stehende Steine von gewöhnlicher Ziegelform abgedeckt, in Parallelreihen aufgestellt, deren Abstände von einander etwa 65 mm betragen, so dass die Gase

Fig. 30.

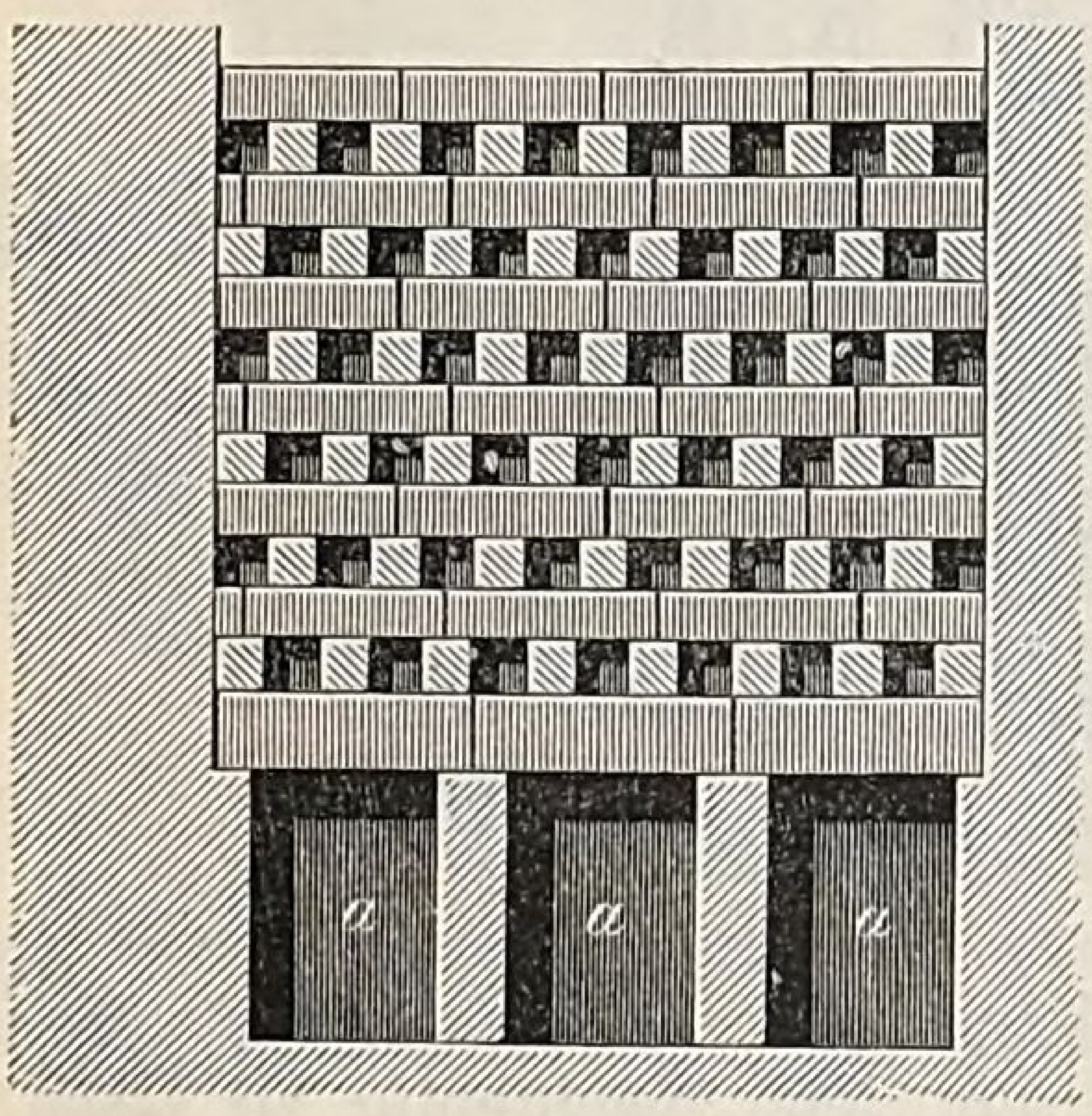
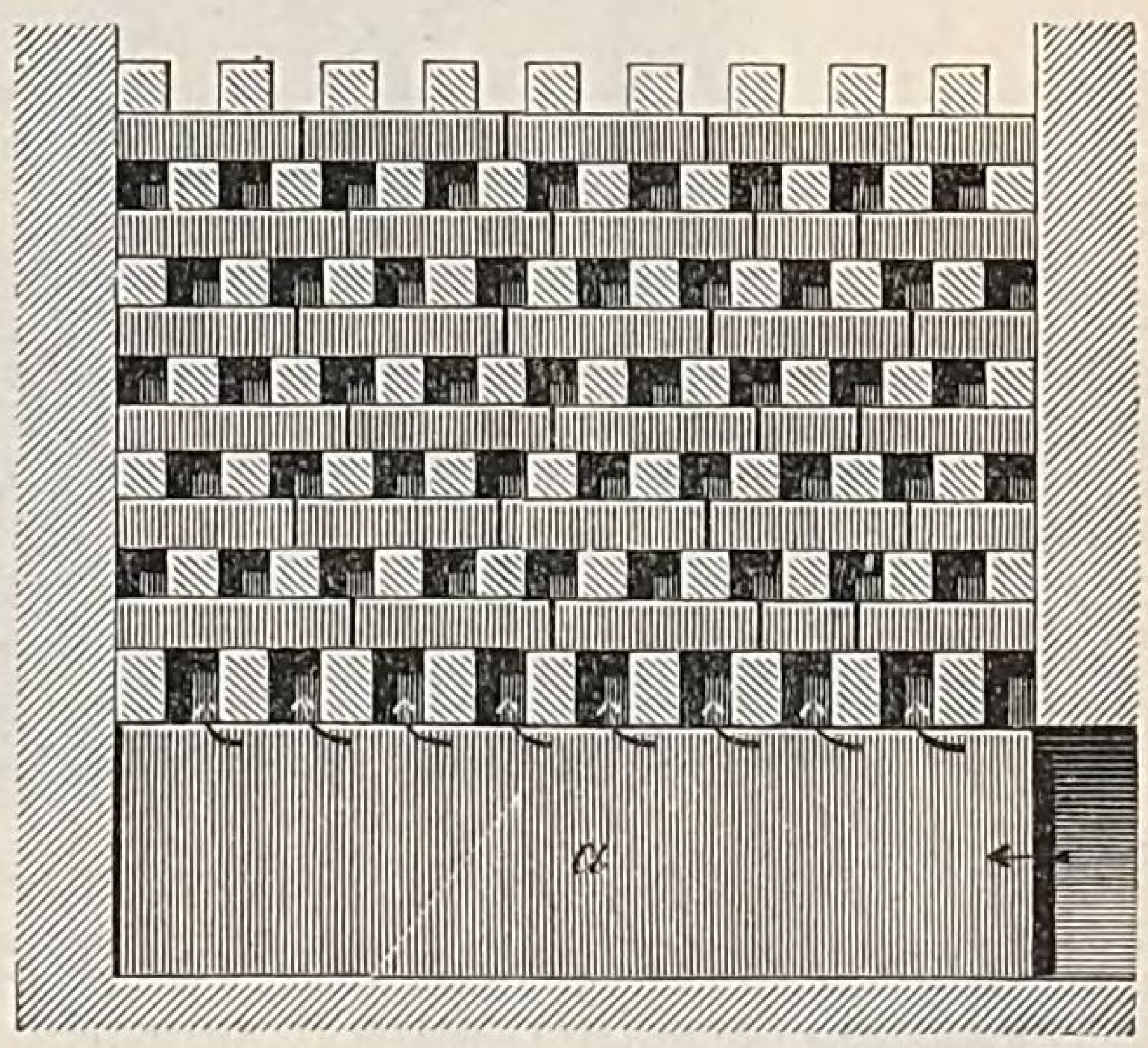


Fig. 31.

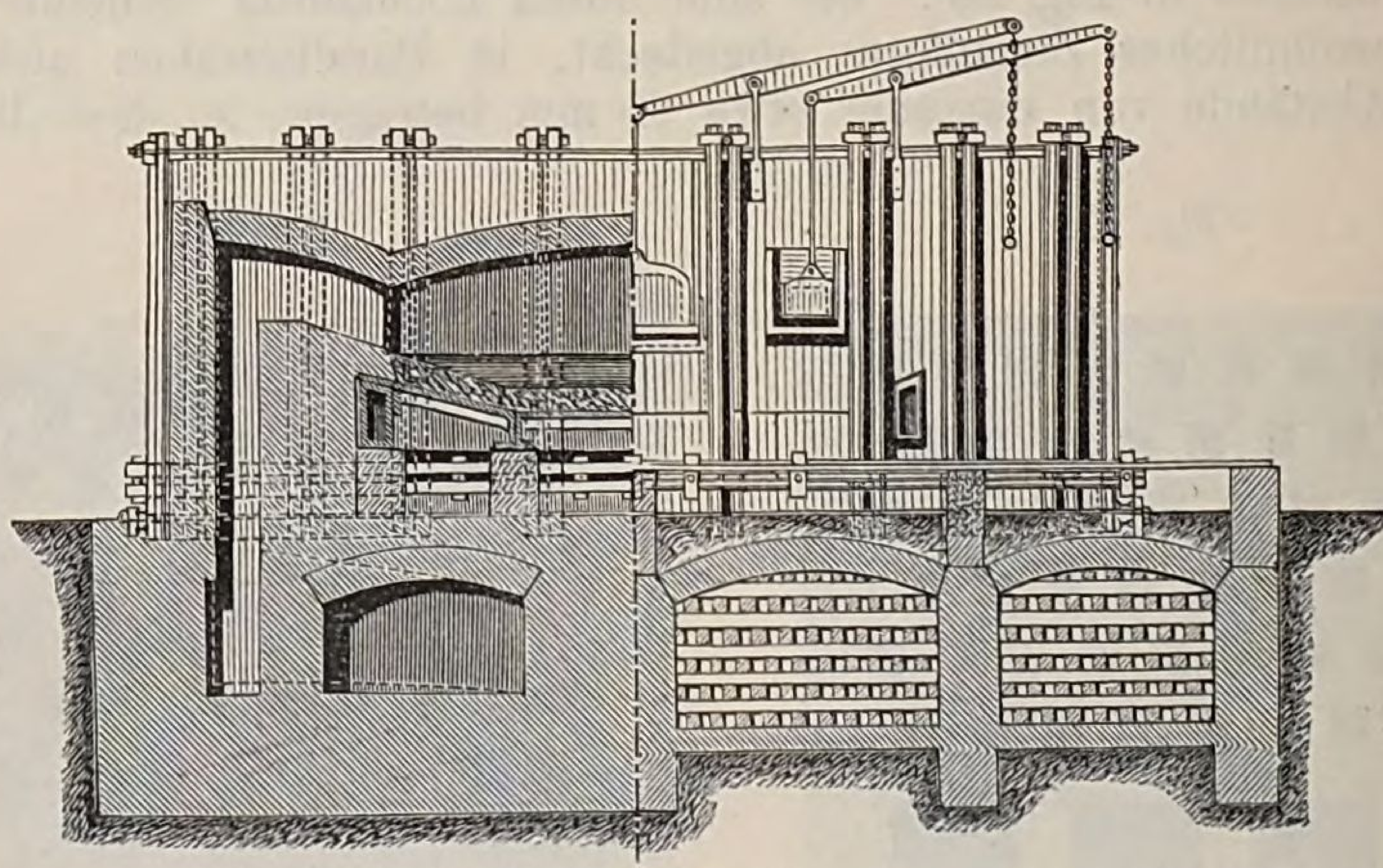


zwischen ihnen hindurch ihren Weg nehmen können. In kreuzweisen Lagen und in Parallelreihen angeordnet ruhen nun auf jener untern Ziegellage die übrigen, die Füllung der Kammer bildenden Ziegel. Man kann zwar auch hierfür Ziegel von den gewöhnlichen Abmessungen verwenden; zur Erzielung einer grösseren Oberfläche ist es jedoch üblicher, Ziegel, die besonders für diesen Zweck geformt wurden, mit geringerem Querschnitte (65 bis 85 mm im Quadrat) zu benutzen. Um den Weg der Gase zu verlängern und die Berührung mit den Ziegeln zu fördern, versetzt man wohl die über einander befindlichen Parallelreihen der Ziegel in der Weise, wie die Abbildungen erkennen lassen.

Bei dem oben abgebildeten Ofen (Fig. 26—29) liegen die Wärmespeicher unter dem Ofen. Sie sind ganz oder doch zum grossen Theile in das Erdreich eingebaut und der Ofen wird von Längswänden mit darauf ruhenden eisernen Querbalken (Fig. 27) getragen, welche die eigentlichen Wärmespeicher einschliessen. Diese Anordnung, welche die Wärmespeicher thunlichst vor Abkühlung schützt, dem Bestreben der sich erwärmenden Gase, emporzusteigen, am besten entspricht, und dieser Vortheile halber am häufigsten in Anwendung ist, hat doch auch

mancherlei Nachtheile. Die Wärmespeicher sind schwer zugänglich, wodurch die von Zeit zu Zeit erforderlich werdenden Ausbesserungsarbeiten (Auswechselung der Ziegelfüllung u. a. m.) erschwert werden; die ganze Anlage erfordert die Herstellung einer wasserdichten Vertiefung im Erdboden, welche Arbeit um so misslicher und kostspieliger sich gestaltet, je höher das Grundwasser steht; und die Belastung des Unterbaues durch das Gewicht des Ofens macht die Anwendung entsprechend grosser Wandstärken erforderlich. Fehlerhaft würde es sein, etwa die Decke der Wärmespeicher zur Unterstützung des Ofens benutzen zu wollen; auch die Seitenwände macht man thunlichst unab-

Fig. 32.



hängig von den zum Tragen dienenden äusseren Wänden, wie es wenigstens zum Theil bei dem abgebildeten Ofen geschehen ist. Man ist jedoch verschiedentlich bemüht gewesen, jene Nachtheile zu beseitigen, indem man die Wärmespeicher neben dem Ofen statt unter ihm anordnete und solcherart den Aufbau des Ofens gänzlich unabhängig von dem der Wärmespeicher machte.

Nicht selten hat man diese Aufgabe in der Weise zu lösen gesucht, dass man den Wärmespeichern die Form wagerechter, vor dem Ofen unmittelbar unter der Erdoberfläche liegender Kanäle verlieh, wie durch die Abbildungen Fig. 32 und 33 veranschaulicht ist. Die Wärmespeicher sind in ähnlicher Weise wie die früher besprochenen mit Ziegeln ausgesetzt. Gas und Luft gelangen durch seitlich von dem Ofen (Fig. 33) angeordnete Ventile nach den Wärmespeichern; Gas- und Luftkanäle ziehen parallel. Die aus dem Ofen kommenden verbrannten Gase treten, wenn sie die Wärmespeicher verlassen, durch einen gemeinschaftlichen, unterhalb beider Ventile hinziehenden Kanal (in Fig. 33 im Durchschnitte sichtbar) nach der Esse.[1])

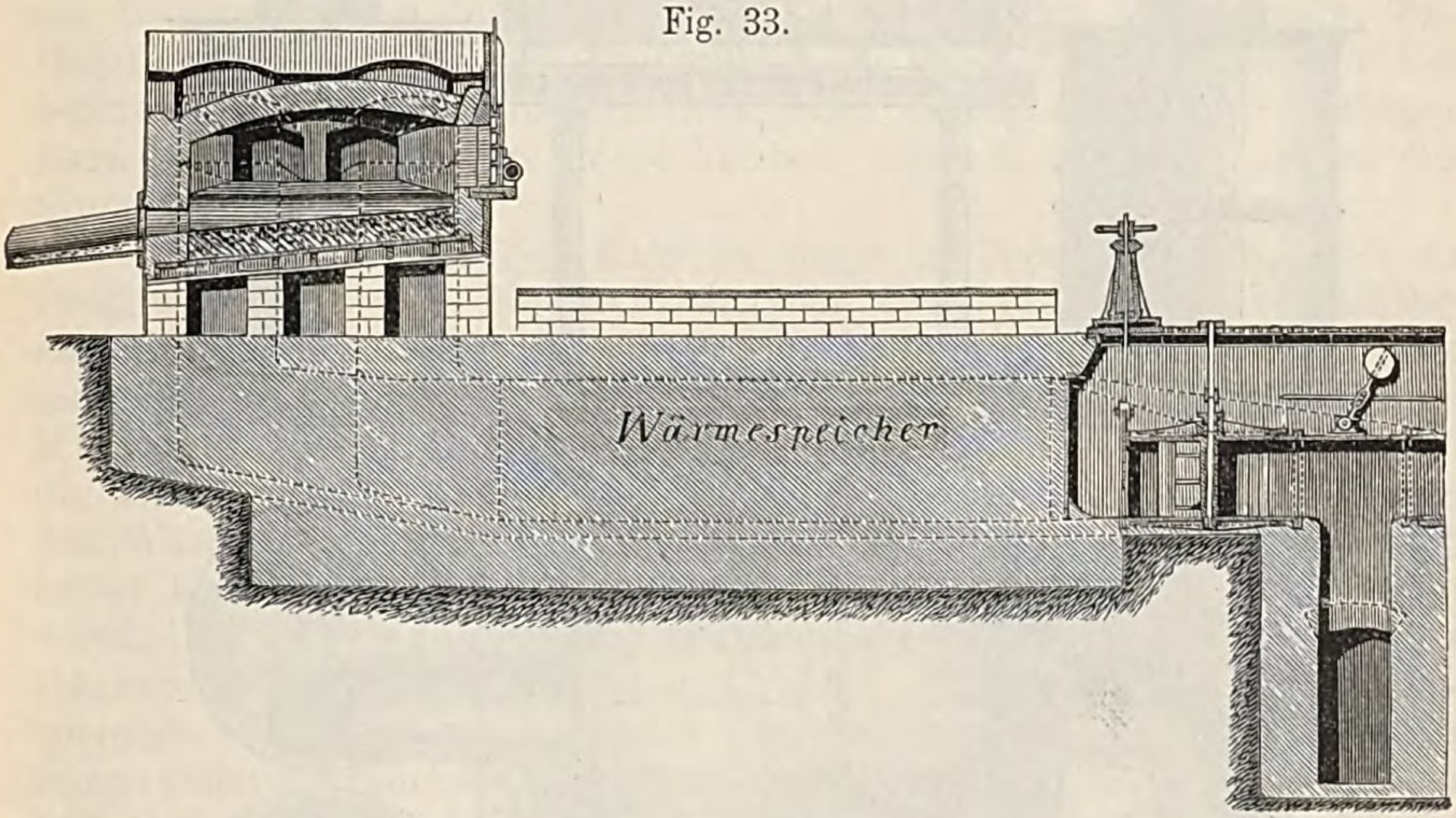
Dem Vortheile der leichteren Zugänglichkeit der Wärmespeicher steht bei dieser Anordnung der Nachtheil eines grössern Bedarfs an

1) Ausführlichere Abbildungen eines solchen Ofens mit liegenden Wärmespeichern findet der Leser in Ledebur, Gasfeuerungen, Fig. 40—42.

Platz gegenüber, wie besonders deutlich in Fig. 33 zu erkennen ist; denn der ganze Raum seitlich vom Ofen, soweit die Kanäle sich erstrecken, geht für die sonstige Benutzung verloren. Zu vermuthen ist ausserdem, dass die gleiche von den Wärmespeichern dargebotene Oberfläche eine geringere Wirkung als in stehenden Wärmespeichern äussern wird; denn die warmen Gase werden vorzugsweise an der Oberfläche hinstreichen und die untere Hälfte der Wärmespeicher wird weniger von ihnen berührt werden. Die Einrichtung ist deshalb weniger oft als die zuerst besprochene in Anwendung gebracht; am häufigsten begegnet man ihr auf österreichischen Werken.

Erwähnung verdient ferner eine Anordnung der Wärmespeicher, welche, zuerst in Grossbritannien eingeführt, auch in Deutschland vereinzelte Anwendung fand (z. B. in Eisenhütte Phönix) und in Fig. 34 und 35 a. f. S. dargestellt ist.[1]) Die Wärmespeicher haben, wie die oben in Fig. 26

Fig. 33.



und 27 abgebildeten, senkrechte Achse, befinden sich aber nicht unter dem Ofen, sondern daneben, haben cylindrische Gestalt und sind durch Blechmäntel eingefasst, während ihre innere Anordnung die nämliche ist, wie früher beschrieben wurde. Die Einrichtung der ebenfalls von Eisenmänteln umgebenen Kanäle zwischen Wärmespeicher und Ofen ist in den Abbildungen erkennbar. Der Ofen steht frei auf einem eisernen Unterbau und ist von einer Bühne aus zugänglich, welche in der Höhe der Oberkante der Wärmespeicher angebracht ist. Ausser den schon erwähnten Annehmlichkeiten bietet eine solche Bauart auch den Vortheil der grösseren Billigkeit.[2]) Der Vorwurf, welchen man dieser Ofenform gemacht hat, dass sie zu grösseren Wärmeverlusten als die ältere Form Veranlassung gäbe, ist schwerlich begründet, sofern die Abmessungen

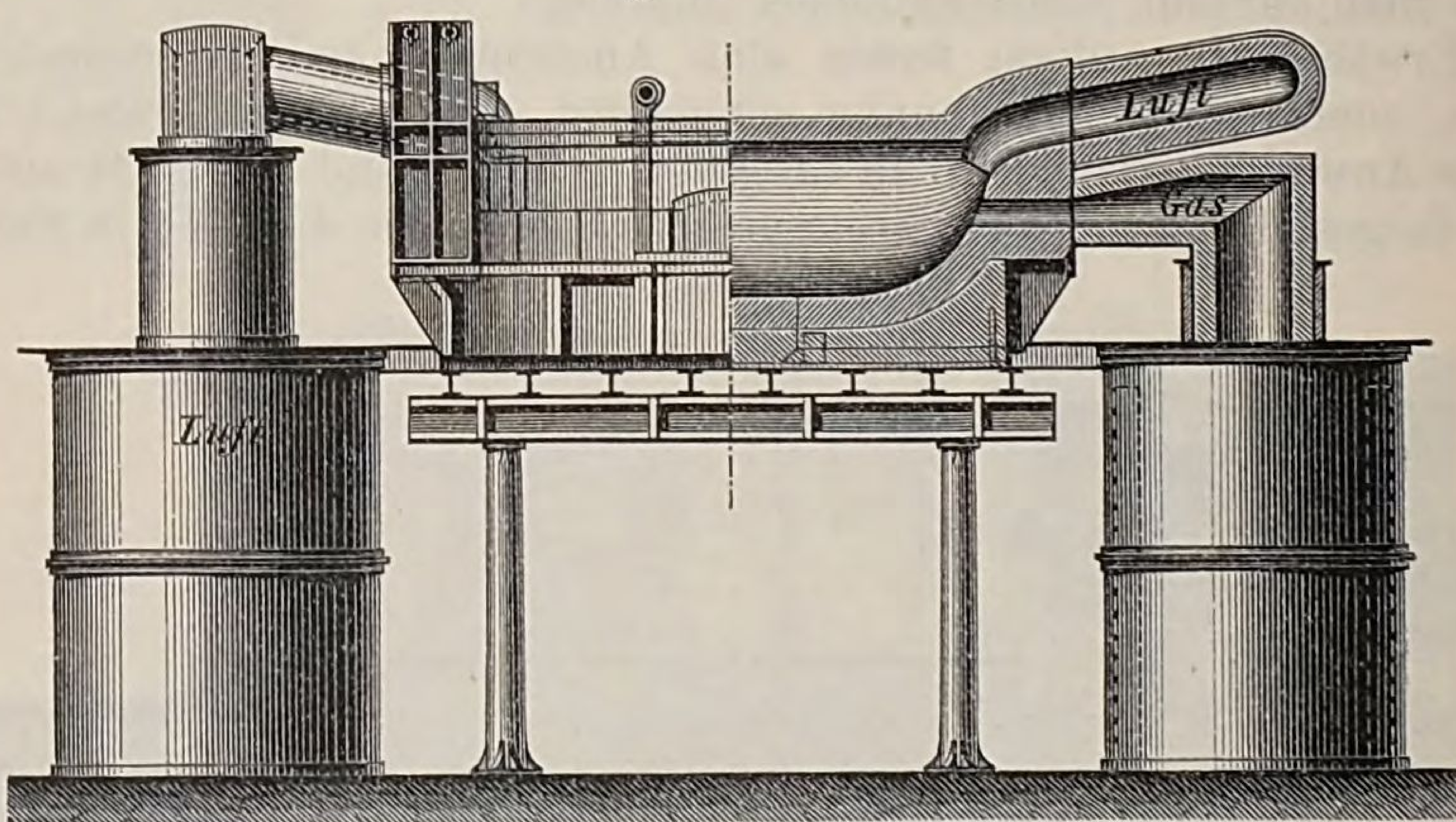
1) Die Eigenthümlichkeiten dieser Oefen sind theils von Batho, theils von Dick und Riley erfunden worden. Vergl. hierüber: „Stahl und Eisen“ 1883, S. 582; 1884, S. 715; 1887, S. 382 und S. 848; Journal of the Iron and Steel Institute 1887, II, p. 119; ferner Deutsche Reichspatente Nr. 21698, 29488 und 30899.

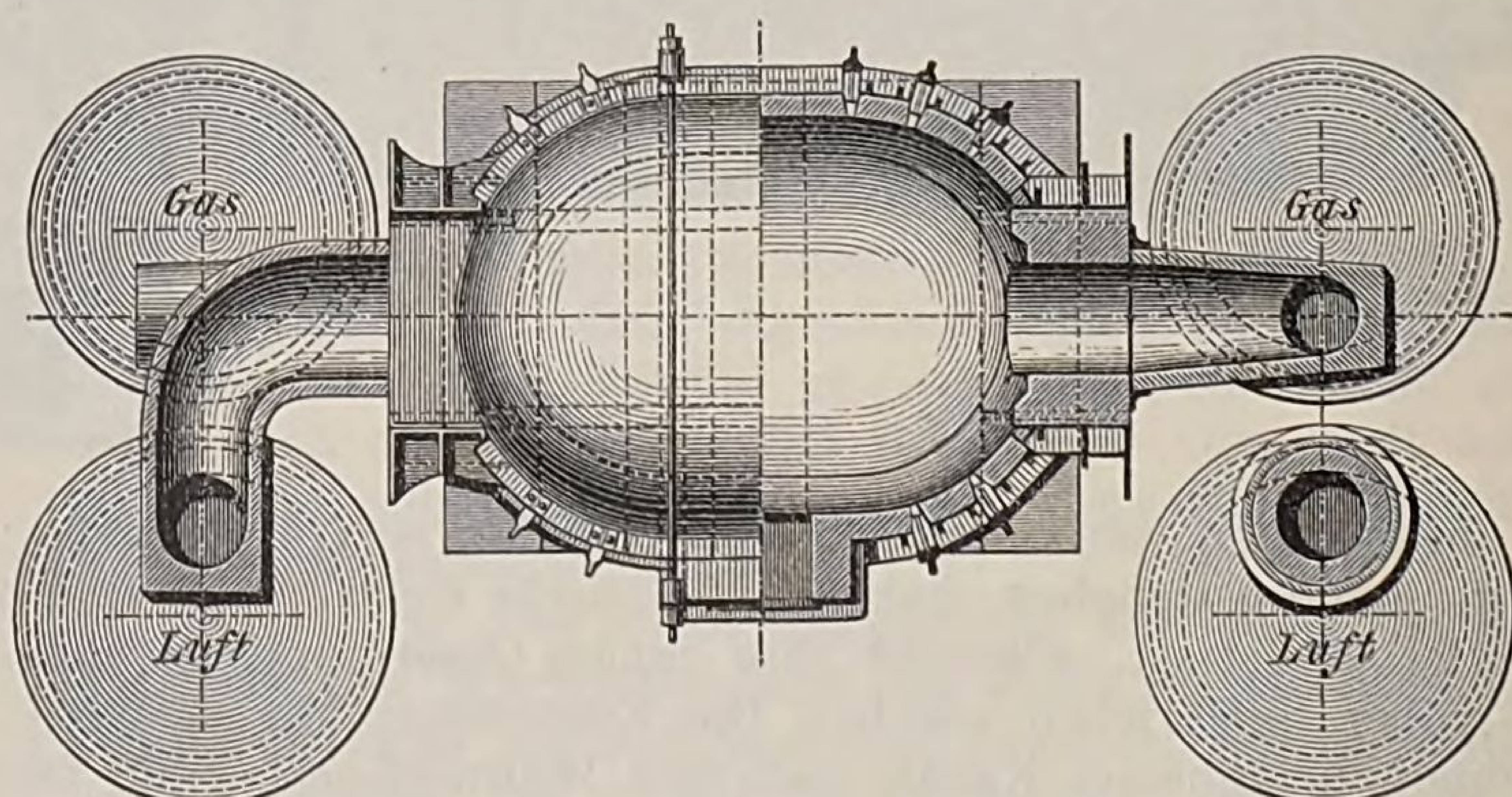
2) „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 716.

und Wandstärken richtig gewählt werden. Dagegen ist der Raumbedarf unleugbar grösser als bei der Anordnung der Wärmespeicher unter dem Ofen.

Abmessungen der Wärmespeicher. Je kleiner diese sind, je weniger Wärme also in ihnen angesammelt ist, wenn sie eine bestimmte Temperatur angenommen haben, in desto kürzeren Zwischenräumen muss umgeschaltet werden, wenn nicht erhebliche Temperaturschwan-

Fig. 34 und 35.





kungen im Ofen selbst entstehen sollen. Je grösser demnach der Brennstoffverbrauch des Ofens ist, desto grösser müssen bei gleicher Zeitdauer zwischen den Umschaltungen die Wärmespeicher sein. Gruner berechnet auf Grund theoretischer Erwägungen, dass bei Benutzung von Steinkohlen-Luftgas je zwei zusammengehörige Wärmespeicher einen Ziegelinhalt von 50 kg für jedes innerhalb zweier Umschaltungen zu vergasende Kilogramm Kohlen enthalten müssen;[1]) häufiger giebt man 60 kg Ziegeln und rechnet als Zeitdauer zwischen den Wechseln eine

1) Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, übersetzt von F. Kupelwieser. Paris 1877. Seite 400.

Stunde. 60 kg Ziegeln besitzen einen Rauminhalt von 0,033 cbm (specifisches Gewicht der Ziegeln = 1,8); innerhalb der Wärmespeicher aber nehmen die Ziegeln ungefähr die Hälfte des gesammten Raumes ein, während die andere Hälfte für die Kanäle übrig bleibt. Der erforderliche Rauminhalt eines Paares von Wärmespeichern würde demnach 0,066 cbm für jedes Kilogramm Kohle sein, welches innerhalb zweier Wechsel zur Vergasung gelangt, oder 6,6 cbm für je 100 kg Kohle. Da der ungefähre Brennstoffverbrauch der Oefen für verschiedene Zwecke durch Erfahrung bekannt ist, würde sich aus diesem der erforderliche Rauminhalt der Kammern berechnen lassen. Im Uebrigen lässt sich, wenn die Wirkung der Kammern von berechneter Grösse nicht genau den Erwartungen entspricht, offenbar Abhülfe schaffen, indem man die Zeitdauer der Wechsel abkürzt oder unter Umständen auch verlängert. In Wirklichkeit findet man den Rauminhalt je eines Paares Kammern = 4,0 bis 8,0 cbm für je 100 kg stündlich verbrannter Steinkohle, und bei Benutzung von Gasen aus anderen Brennstoffen (Braunkohle, Torf, Holz) verringert sich der Rauminhalt in ungefähr dem gleichen Verhältnisse, als die Gasausbeute aus jenen geringer ist. Die Zeitdauer zwischen zwei Wechseln pflegt hierbei, wie schon erwähnt, etwa eine Stunde zu betragen.

Der Querschnitt der Kammer muss so bemessen sein, dass die Geschwindigkeit der hindurchziehenden Gase nicht allzu beträchtlich ausfällt. Auf 100 kg stündlich verarbeiteter Steinkohle findet man meistens einen Gesammtquerschnitt eines Paares Kammern von 2,5 bis 3 qm, auf 100 kg Braunkohle von 1,5 bis 2 qm, wovon, wie erwähnt, die Hälfte auf die Kanäle entfällt. Mitunter jedoch, zumal bei liegenden Wärmespeichern, sind jene Ziffern noch niedriger. 1 kg Steinkohle liefert bei Verbrennung mit einem Luftüberschuss von 20 bis 25 Hunderttheilen ungefähr 11 cbm Verbrennungsgase von Null Grad,[1]) deren Rauminhalt sich, wenn sie mit 1200° C. Temperatur in die Wärmespeicher eintreten, auf 48,3 cbm vergrössert;[2]) bei einem stündlichen Steinkohlenverbrauche von 100 kg und 1200° Temperatur der Gase erhält man demnach eine Gasmenge in der Secunde = 1,3 cbm und deren Geschwindigkeit bei 1,24 qm freiem Querschnitte der Kanäle in den Wärmespeichern = 1 m. Hierbei kommt nun noch in Betracht, dass die Gase, je mehr sie sich beim Hindurchziehen abkühlen, desto langsamer sich bewegen, und dass in jedem Falle die Bewegungsgeschwindigkeit des unverbrannten Gases wie der Luft noch geringer ist, so dass auch bei erheblich kleinerem Querschnitte kaum eine allzu grosse Geschwindigkeit sich ergeben wird.

Den erforderlichen Gesammtquerschnitt der zu einander gehörigen Wärmespeicher vertheilt man entweder gleichmässig auf beide oder — häufiger — man giebt dem für die Erhitzung der Luft bestimmten Wärmespeicher einen etwas grösseren Querschnitt als dem für die Erhitzung des Gases dienenden (Fig. 27). Man nimmt hierbei Rücksicht

1) Da der erforderliche Luftüberschuss bei Siemensfeuerungen erheblich niedriger ist als bei Rostfeuerungen, ist auch die Menge der Verbrennungsgase geringer, als in Anmerkung 1 auf Seite 140 für Rostfeuerungen angegeben wurde.

2) Formel: $V_1 = V\ (1 + 0{,}00366\ t)$, worin V den Rauminhalt bei gewöhnlicher Temperatur, V_1 bei der höheren Temperatur t bedeutet.

auf den Umstand, dass zwar die Raummenge der theoretisch erforderlichen Verbrennungsluft annähernd die gleiche ist, wie die des zu verbrennenden Gases, die Luft aber kalt, das Gas dagegen schon mehr oder weniger heiss in den Wärmespeicher einzutreten pflegt, und dass ausserdem in den meisten Fällen ein, wenn auch geringer Luftüberschuss zur Verwendung gelangt. Häufig findet man aus diesen Gründen ein Verhältniss der Querschnitte = 4 : 3 bis 3 : 2.

Aus dem berechneten Rauminhalte der Wärmespeicher und ihrem Querschnitte ergiebt sich ihre Höhe (bei liegenden Kammern die Länge). Nicht selten sind jedoch diese Abmessungen auch durch die Bauart des Ofens bedingt. Stehenden Wärmespeichern, zumal wenn sie unter dem Ofen liegen, giebt man selten eine grössere Höhe als 2,5 bis 3 m (innerhalb des Ziegelgitterwerks, also ohne die unter diesem liegenden Kanäle und ohne den freien Raum zwischen den Ziegeln und der Decke).

Die Umsteuerungs- oder Wechselvorrichtungen. Von Siemens wurde für die Umsteuerung eine um 90° drehbare Klappe zur Anwendung gebracht, und bei zahlreichen Oefen hat seitdem diese sogenannte Wechselklappe Benutzung gefunden. Auch die oben abgebildeten Oefen sind mit solchen Klappen versehen, deren Einrichtung in Fig. 27 und 29 erkennbar ist. Sie bestehen aus Gusseisen oder gegossenem Stahl, sind gewöhnlich durch aufgegossene Rippen verstärkt und befinden sich in einem ebenfalls eisernen Gehäuse. Am Scheitel des Gehäuses für die Luftklappe ist ein Ventil zur Regelung des Luftzuflusses angebracht; der Gaszufluss pflegt durch ein ähnliches Ventil in der Leitung geregelt zu werden.[1]) In Fig. 27 und 29 haben die Klappen, wie in den meisten Fällen, wagerechte Drehungsachse, bei dem Ofen Fig. 31 dagegen sind Klappen mit senkrechter Achse zur Anwendung gebracht, und ein Gegengewicht mit Hebel hält sie in der ihnen ertheilten Stellung fest.

Diese Klappen haben jedoch den Nachtheil, dass sie bei starker Erhitzung sich leicht werfen und dann nicht mehr dicht schliessen. Bei den älteren Siemensöfen vermied man eine zu starke Erhitzung der Klappen, indem man die Gase in der auf Seite 118 beschriebenen Einrichtung abkühlte. Wo die Einrichtung bereits aus früherer Zeit vorhanden ist, macht man auch jetzt noch von ihr Gebrauch; bei Neuanlagen, welche für die Verwendung wasserarmer Brennstoffe bestimmt sind, pflegt man dagegen, wie bereits erwähnt wurde, die Gaserzeuger unweit von den Oefen aufzustellen, um nicht unnöthigerweise Wärme preiszugeben, und die Gase durch eine unterirdische Leitung nach der Wechselvorrichtung zu führen.

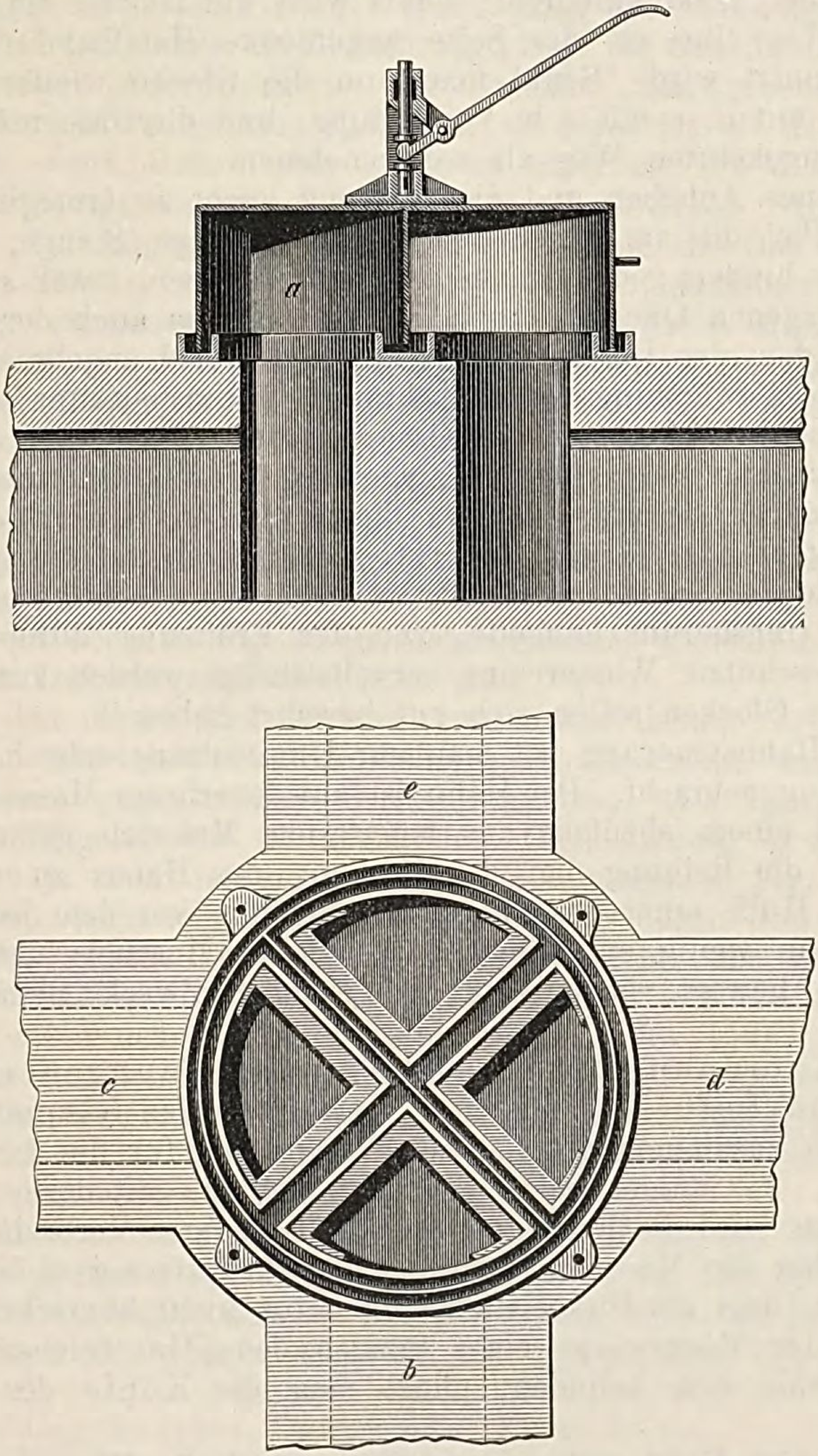
In letzterem Falle treffen also die Gase heisser auf die Klappe, und die Gefahr, dass diese undicht werde, ist grösser.

An Stelle der Klappe benutzt man mitunter eine Glocke, wie in Fig. 36 und 37 dargestellt ist. Sie besteht aus einer Blechhaube *a*, welche durch eine senkrechte Scheidewand in zwei Hälften getheilt ist. Mit ihrem unteren Rande steht sie in einer gusseisernen ringförmigen Rinne oder Zarge mit zwei, unter rechten Winkeln sich kreuzenden

1) Abbildungen verschiedener solcher Klappen: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band III, Seite 528.

Querrinnen, welche den Kreis in vier, mit ebenso vielen Kanälen in Verbindung stehende Viertelkreise eintheilen. Die Rinnen sind zur Erzielung eines dichten Abschlusses mit Wasser gefüllt. Von den in Fig. 37 mit Punkten gezeichneten Kanälen dient *b* zum Zuströmen des

Fig. 36 und 37.



unverbrannten Gases (oder der Luft), *c* und *d* führen nach den zwei Wärmespeichern für die Erhitzung des Gases (oder der Luft), *e* führt zur Esse. Nimmt die Glocke eine Stellung ein wie in Fig. 37, so ist der Kanal *b* mit *c* und der Kanal *d* mit *e* durch die Scheidewand der Glocke getrennt. Das von *b* kommende Gas (oder die Luft) zieht also durch *c* nach dem betreffenden Wärmespeicher, um hier erhitzt zu

werden und dann in den Ofen einzutreten; die Verbrennungsgase kommen durch *d* zurück und ziehen durch *e* nach der Esse. Soll mit der Zugrichtung gewechselt werden, so wird die Glocke mit Hülfe des in Fig. 36 erkennbaren Hebels so weit gehoben, dass die Scheidewand (deren unterer Rand etwas höher liegt als der Rand der Glocke) aus der Rinne heraustritt, während der Rand der Glocke, damit nicht äussere Luft eintreten kann, noch eintaucht; dann wird die Glocke um 90 Grade gedreht, wobei eine an der Seite angenietete Handhabe (in Fig. 36 sichtbar) benutzt wird. Senkt man nun die Glocke wieder, so steht der Kanal *b* mit *d*, *c* mit *e* in Verbindung, und die Gase müssen demnach den umgekehrten Weg als zuvor nehmen.

Um jenes Anheben und die Drehung leicht zu ermöglichen, umfasst der Hebel die am Kopfe der Glocke befestigte Stange, ohne ihre Drehung zu hindern; die Stange ist in einem von zwei senkrechten Stützen getragenen Querstege geführt, an welchem auch der Arm sich befindet, in dem der Drehungspunkt für den Hebel angebracht ist.

Für die Anwendung der Vorrichtung zur Umsteuerung sehr heisser Gase hat man bisweilen nach v. Ehrenwerth's Vorschlage die Glocke im Innern mit feuerfesten Ziegeln ausgemauert, die Wasserrinnen zwischen den vier Kanälen beseitigt und an diesen Stellen den Abschluss nur durch die Steine der Glocke bewirkt, welche sich auf die gemauerten Scheidewände der Kanäle aufsetzen, während der Abschluss nach aussen durch eine ringsherum laufende, vor der Erhitzung durch die Ausmauerung geschützte Wasserrinne vervollständigt werden kann. Solche ausgemauerte Glocken sollen sich gut bewährt haben.[1)]

Auch Hahnsteuerung hat man zur Umschaltung sehr heisser Gase in Anwendung gebracht. Der Hahn ist aus feuerfester Masse hergestellt und ruht in einem ebenfalls aus feuerfestem Materiale gefertigten Gehäuse. Um die Reibung bei der Drehung des Hahns zu vermeiden, wird er mit Hülfe einer besonderen Vorrichtung vor dem jedesmaligen Umsteuern ein wenig emporgehoben.[2)] Selbst Muschelschieber, durch Wasserdruck bewegt, haben für den gleichen Zweck Benutzung gefunden.[3)]

Die Anordnung der Ausströmungsöffnungen (Brenner) für Gas und Luft. Die Art und Weise, wie das Gas mit der Verbrennungsluft zusammentrifft, ist von Wichtigkeit für die Leistung der Siemensöfen. Je inniger beide gemischt werden, mit desto geringerm Luftüberschuss wird die Erzielung einer vollständigen Verbrennung möglich; je rascher die Mischung stattfindet, desto kürzer wird die Flamme, vorausgesetzt, dass die Dissociationstemperatur nicht überschritten wird. Die Theile des Mauerwerks eines Siemensofens, in welchen die Einströmungskanäle sich befinden, pflegt man die Köpfe des Ofens zu nennen.

Einfach ist die Anordnung der Gas- und Luftzuführungen bei dem oben in Fig. 32 und 33 abgebildeten Ofen: sie bestehen aus zwei in

1) Näheres: „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 344; 1886, Seite 668.

2) Abbildung eines solchen Hahns nebst Zubehör: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band III, Tafel 27; daraus in Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 97.

3) „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 268.

gleicher Höhenlage befindlichen, unter einem Winkel von etwa 60 Graden zusammenlaufenden Kanälen, deren Mündungen in Fig. 33 erkennbar sind. Hierbei entsteht allmähliche Mischung und eine lange Flamme. Nicht selten vertheilt man, um die Mischung zu erleichtern, Gas und Luft in mehrere Kanäle, welche abwechselnd neben einander liegen; z. B. drei Gaskanäle und dazwischen zwei Luftkanäle.[1])

Häufiger als neben einander ordnet man die Oeffnungen über einander an, und zwar stets die Luftöffnung oben, die Gasöffnung darunter. Für die letztere Anordnung ist der Umstand maassgebend, dass die Luft bei gleicher Temperatur specifisch schwerer ist als das Gas, und dass mithin, wenn erstere über letzterem einströmt, die Mischung mehr befördert wird, als im umgekehrten Falle. Friedrich Siemens sagt hierüber:[2]) „Im Allgemeinen thut man am besten, das Gas durch einen horizontalen Schlitz, welcher in der Seite der Ofenkammer angebracht ist, eintreten zu lassen, über welchem die Luft durch einen ähnlichen Schlitz von etwas grösserem Querschnitt und einer den Gasschlitz auf beiden Seiten überragenden Länge ebenfalls eintritt. Da das Gas von erheblich geringerem specifischem Gewicht ist als die Luft und daher eine Tendenz zeigt, durch die Luft in die Höhe zu steigen, während die Luft durch das Gas herabsinkt, so wird auf solche Weise in den meisten Fällen eine genügend schnelle und vollständige Mischung möglich werden.“

Bei dem oben in Fig. 34 gezeichneten Ofen findet ein solche Zuführung der Luft oberhalb des Gases statt.

Auch bei dieser Art der Luft- und Gaszuführung theilt man bisweilen das eintretende Gas in mehrere Parallelströme zur Erzielung einer grösseren gegenseitigen Berührungsfläche. Als Beispiel hierfür kann der in Fig. 26 und 27 abgebildete Ofen dienen. *a* (Fig. 26) ist der eine von je zwei Gaskanälen, deren Mündungen in Fig. 27 sichtbar sind; die Luft steigt aus dem Wärmespeicher *B* durch drei (in Fig. 27 durch Punkte angedeutete) Kanäle empor, welche sich oberhalb der Gaskanäle in einem einzigen breiten Einströmungsschlitze vereinigen.[3])

Die Grösse des Ausströmungsquerschnitts für Luft pflegt für je 100 kg stündlich verbrannter Steinkohle im Mittel etwa 0,07 qm, des Ausströmungsquerschnitts für Gas etwa 0,06 qm zu betragen, während ein Vergleich dieser Querschnitte bei verschiedenen Oefen allerdings erhebliche Abweichungen erkennen lässt.[4])

Der Heizraum. Der Querschnitt des Heizraums soll neueren Erfahrungen gemäss nicht allzu knapp bemessen sein. Bei dem in Fig. 26 dargestellten Ofen senkt sich das Gewölbe etwas nach der Mitte zu, der vertieften Form des Herdes folgend; bei dem in Fig. 32 dargestellten

1) Abbildung: Ledebur, Gasfeuerungen, Fig. 40—42.

2) Fr. Siemens, Ueber den Verbrennungsprocess mit specieller Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse. Berlin 1887. Seite 9.

3) Ueber sonstige Anordnungen vergleiche die unter Litteratur genannte Abhandlung Schmidhammer's in „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 751; über einen Ofen mit Regelung der Gas- und Luftzuführung durch verschiedene Oeffnungen (Schönwälder's Ofen): „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 989.

4) Nach Fr. Toldt (Regenerativ-Gasöfen, Seite 296) sollen die Austrittsquerschnitte so bemessen werden, dass das Gas und die Luft keine grössere Geschwindigkeit als 8 m in der Secunde annehmen.

steigt es nach der Mitte zu empor, hier der Entfaltung der Flamme einen genügenden Raum bietend. Die Gase finden in einem Ofen der letztern Art geringere Reibungswiderstände; ihre Neigung zur Dissociation wird geringer. Ein anderer Nutzen dieser Ofenform ist die grössere Haltbarkeit der Ofendecke. Oefen mit solchen weiten Heizräumen für Zwecke des Eisenhüttenbetriebs sind zuerst von österreichischen Eisenhüttenleuten gebaut worden; auf ihre Vortheile ist man erst allgemeiner aufmerksam geworden, nachdem Fr. Siemens durch Abhandlungen und öffentliche Vorträge darauf hinwies.[1])

Die Esse. Da die Verbrennungsluft, wie oben erwähnt wurde, nicht durch ein Gebläse zugeführt, sondern durch eine Esse angesaugt zu werden pflegt, die Widerstände, welche sich der Fortbewegung der Verbrennungsgase in den Siemensöfen entgegensetzen, aber ziemlich erheblich sind, ist eine kräftig wirkende Esse erforderlich, damit ausreichend lebhafte Verbrennung stattfinden kann. Eine zuverlässige Berechnung jener Widerstände ist unmöglich, da die Verhältnisse, unter welchen die verschiedenen Siemensfeuerungen betrieben werden, sehr abweichen; man muss sich mit Erfahrungsergebnissen begnügen.

Je weniger heiss die Gase in die Esse eintreten, desto zugkräftiger muss diese sein. Die Temperatur der Gase aber hängt ab von der Beschaffenheit des Brennstoffs, von der mehr oder weniger starken Abkühlung, welche die Gase vor dem Eintritte in den Ofen erlitten, von der Temperatur und dem Wärmeverbrauch im Ofen, von der Einrichtung der Wärmespeicher, von der Einrichtung der Gasleitung zwischen Ofen und Esse.

Wo man mehrere Oefen betreibt, giebt man ihnen mitunter aus Ersparungsrücksichten eine gemeinschaftliche Esse. Zweckmässiger ist es jedoch, jeden Ofen mit einer eigenen Esse zu versehen, da die Zugverhältnisse bei gemeinschaftlicher Esse sich ändern, wenn einzelne Oefen kalt gelegt werden.

Aus dem muthmaasslichen Brennstoffverbrauche würde sich der erforderliche Essenquerschnitt berechnen lassen, wenn man annimmt, dass 1 kg Steinkohle etwa 20 cbm Verbrennungsgase von 300° C., 1 kg Braunkohle etwa 15 cbm, 1 kg Torf 13 cbm liefern[2]) und die Geschwindigkeit der Gase nicht über 5 m in der Secunde betragen soll. Sind die Gase heisser als 300° C., so vergrössert sich dadurch zwar ihr Rauminhalt, aber auch die zulässige grösste Geschwindigkeit wird beträchtlicher, so dass hierdurch ein Ausgleich stattfindet.

Die Höhe der Esse bei Siemensfeuerungen schwankt zwischen 15 bis 40 m, je nachdem ein oder mehrere Oefen mit der Esse verbunden sind und je nachdem eine niedrigere oder höhere Temperatur in dem zu heizenden Ofen erzeugt werden soll. Bei allzu niedrigen Essen wird der Zug leichter durch die Witterungsverhältnisse beeinflusst.

1) Friedrich Siemens, Ueber den Verbrennungsprocess mit specieller Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse. Berlin 1887. — Friedrich Siemens, Ueber ein neues Verbrennungs- und Heizungssystem. Glaser's Annalen, Band 16, Seite 126. Die von Fr. Siemens aufgestellten Theorien sind nicht unanfechtbar; auch ist die von ihm in den genannten Abhandlungen ausgesprochene Meinung irrig, dass er der Erfinder dieser Ofenform sei. Schon zu Anfang der siebziger Jahre sind ganz ebensolche Oefen von Anderen gebaut worden.

2) Die Ziffern beziehen sich auf den Rauminhalt der heissen Gase.

Abarten der Siemensfeuerungen.

Die etwas schwerfällige und jedenfalls kostspielige Einrichtung der Siemensöfen hat man mehrfach dadurch zu vereinfachen gesucht, dass man statt der vier nur zwei Wärmespeicher, zum Erhitzen der Luft bestimmt, anlegte, das Gas aber, ohne es einer besonderen Vorwärmung zu unterziehen, unmittelbar vom Gaserzeuger dem Ofen zuführte.

Erwägt man, dass manche mit Steinkohlen gespeiste Gaserzeuger, zumal wenn sie mit Unterwind betrieben werden, ihre Gase mit einer Temperatur von über 900° C. entlassen, so wird man sich sagen, dass bei sofortiger Verbrennung solcher heissen Gase mit erhitzter Luft ebenso hohe Temperaturen erreichbar sein müssen, als nach voraufgegangener Wiedererhitzung des zuvor abgekühlten Gases. In der That sind derartige vereinfachte, nur mit zwei Wärmespeichern versehene Siemensfeuerungen für verschiedene Zwecke mit gutem Erfolge hier und da in Anwendung gebracht worden. Dass man in solchen Oefen mitunter im Stande sein wird, gegenüber den Siemensöfen mit langen Gasleitungen, in welchen das Gas absichtlich oder unabsichtlich abgekühlt wird, also jedenfalls Wärme verloren geht, eine gewisse Menge Brennstoff zu ersparen, ist nicht zu bezweifeln; indessen wird man leicht versucht, sich von dieser erreichbaren Brennstoffersparung etwas übertriebene Vorstellungen zu machen. Die Erklärung der Thatsache, dass der Erfolg dieser Aenderung häufig die gehegten Erwartungen nicht erfüllt hat, ergiebt sich aus nachstehender Betrachtung.

Aus dem Verbrennungsherde der Flammöfen müssen die Gase mit einer Temperatur austreten, welche höher ist als diejenige, welche der zu erhitzende Körper annehmen soll, weil sonst die Erhitzung des letzteren auf das erforderliche Maass nicht möglich sein würde. Da die Siemensfeuerungen vorzugsweise für solche Zwecke Verwendung finden, deren Erreichung nur in hohen Temperaturen möglich ist, pflegen auch ihre Verbrennungsgase mit hoher Temperatur zu entweichen und eine entsprechende Wärmemenge mit fortzuführen. Diese Wärme geben sie zum grossen Theile in den Wärmespeichern ab, und die abgegebene Wärme wird nutzbar gemacht, indem sie nach erfolgtem Wechsel von dem zuströmenden unverbrannten Gase und der Verbrennungsluft in den Ofen zurückgeführt wird. Erfahrungsmässig reicht die von den Gasen mitgenommene Wärme aus, die beiden für die Vorwärmung von Gas und Luft bestimmten Wärmespeicher in einer Weise zu erhitzen, dass schon in Rücksicht auf die beschränkte Feuerfestigkeit der Ofenbaumaterialien eine erheblich stärkere Erhitzung kaum möglich sein würde.

Sieht man nun von einer Vorwärmung des Gases ab, ordnet man also nur zwei Wärmespeicher an und verwendet die gesammten Verbrennungsgase zur Heizung nur je eines Wärmespeichers, so werden sie heisser als im anderen Falle diesen verlassen und eine grössere Wärmemenge ungenutzt nach der Esse entführen. Eine Vergrösserung der Wärmespeicher würde zwar den Erfolg haben, dass die Zeitdauer zwischen zwei Wechseln verlängert werden könnte; die Erhitzung der zutretenden Luft aber wird kaum erheblich höher sein, als in Oefen mit zwei Paar Wärmespeichern.

Bei Oefen, auf deren Herde eine verhältnissmässig niedrige Temperatur herrscht, und deren Gase also auch geringere Wärmemengen mit fortnehmen, z. B. bei Glühöfen, würde demnach die Einrichtung im Allgemeinen mehr Erfolg verheissen als bei solchen mit hoher Temperatur; gerade in jenen Fällen jedoch pflegt man sich noch einfacherer Feuerungen zu bedienen und von der Anwendung der immerhin kostspieligen Wärmespeicher überhaupt abzusehen.[1])

Einige andere Fälle, wo solche Oefen mit nur zwei Wärmespeichern Benutzung gefunden haben, werden bei Besprechung der betreffenden Verfahren in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde ausführlicher behandelt werden (z. B. Pietzka's Puddelofen).

Aus dem Gesagten folgt indess, dass eine wesentlich günstigere Ausnutzung der aus solchen Oefen abziehenden Wärme sich nur erreichen lässt, wenn man denjenigen Theil der Abhitze, welcher durch den Wegfall der Wärmespeicher für Gaserhitzung entbehrlich wird, für andere Zwecke verwendet. Eine Benutzung der Abhitze zur Dampfkesselfeuerung hat bislang nicht oder nur ausnahmsweise stattgefunden, da man sich scheut, den Essenzug durch Einbau des Dampfkessels zu schmälern. Sinnreich ist ein von Biedermann und Harvey gemachter und auf einzelnen Eisenwerken zur Ausführung gelangter Vorschlag, jene entbehrliche Abhitze zur Erzeugung neuen Brenngases zu benutzen, indem man Kohlenstoff durch den Kohlensäure- und Wasserdampfgehalt der heissen Verbrennungsgase verbrennt. Der nicht zur Heizung der Wärmespeicher erforderliche Theil der Verbrennungsgase — aus Kohlensäure, Wasserdampf und überschüssigem freien Sauerstoff nebst dem mitgeführten Stickstoff bestehend — wird demnach bei dem von Biedermann und Harvey erfundenen Ofen[2]) in den Gaserzeuger zurückgeführt, um hier in Brenngas umgewandelt zu werden. Aus dem Kohlensäuregehalt des Gases wird Kohlenoxydgas ($CO_2 + C = 2\,CO$), und die gleiche Menge des hierbei vergasten Kohlenstoffs liefert hierbei die doppelte Menge Kohlenoxydgas, als bei der Vergasung durch freien Sauerstoff; aus dem Wasserdampfgehalte der Gase wird Wassergas ($H_2O + C = 2\,H + CO$). Der für diese Vorgänge erforderliche Wärmebedarf wird eben durch die von den zuströmenden heissen Gasen mitgebrachte Wärme gedeckt, und auf diesem Umstande beruht der Nutzen des Verfahrens. Die sonst ungenutzt aus dem Ofen entweichende Wärme wird hier zur Neubildung von Gas verbraucht, bei dessen Verbrennung im Ofen sie wieder entwickelt wird. Durch den freien Sauerstoff, welcher in den abziehenden und dem Gaserzeuger wieder zugeführten Gasen fast stets anwesend ist, wird zugleich eine beschränkte Menge Luftgas unter Entwickelung von Wärme erzeugt, und diese Wärme wird ebenfalls dazu verwendet, den besprochenen Wärmeverbrauch zu

1) Als ein Beispiel eines solchen Ofens mit nur einem Paar Wärmespeicher kann ein von Pütsch erbauter Glühofen dienen, abgebildet in B. Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde, 2. Auflage, Seite 198; ferner in Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 108.

2) In der Litteratur wird dieser Ofen gewöhnlich als „Neuer Siemensofen“ bezeichnet. Die wichtigeren der für und wider diesen Ofen geschriebenen Abhandlungen sind unter den Litteraturnachweisen am Schlusse dieses Abschnitts aufgeführt. Auch Abbildungen des Ofens sind in jenen Abhandlungen enthalten.

decken; durch Zuführung äusserer Luft neben den Verbrennungsgasen lässt sich diese Wärmeerzeugung noch entsprechend vermehren, falls es erforderlich sein sollte.

Der beschriebene Ofen ist vorzugsweise häufig in Grossbritannien zur Anwendung gekommen, auch in Frankreich und Belgien auf mehreren Werken eingeführt, hat dagegen in Deutschland nur vereinzelt Eingang gefunden.

Neuere Gasflammöfen ohne Wärmespeicher.

Nachdem man durch die Siemensfeuerungen den Beweis erlangt hatte, dass die Vergasung nicht allein geringwerthiger Brennstoffe, sondern auch der Steinkohlen Vortheile zu gewähren vermöge, ging man zur Einführung von Oefen über, welche, einfacher und in der Anlage billiger als Siemensöfen, vorzugsweise für die Benutzung von Steinkohlen-Luftgas bestimmt waren und neben den Siemensöfen eine ziemlich häufige Verwendung besonders im Eisenhüttenbetriebe gefunden haben. Bei allen diesen Oefen liegt der Gaserzeuger unmittelbar am Ofen, so dass die Gase noch heiss in den letzteren eintreten, und eine Vereinigung mehrerer Gaserzeuger zu einer Gruppe, welche bei umfänglicheren Anlagen von Siemensfeuerungen nützlich sein kann, findet nicht statt; die Verbrennungsluft wird, statt in Wärmespeichern, in Kanälen vorgewärmt, welche durch das Gemäuer des Ofens hindurchziehen. Die Richtung des Flammenstromes im Ofen bleibt unverändert; die abziehenden Gase aber verlassen, wie bei den Oefen mit Rostfeuerung, den Ofenherd mit hoher Temperatur und lassen sich ebenso wie dort zu Nebenzwecken (Dampfkesselfeuerung) verwenden. Obgleich also die Wärmeausnutzung für die eigentlichen Zwecke des Ofens ungünstiger ist, als bei den Siemensfeuerungen, in welchen die abziehende und in den Wärmespeichern angesammelte Wärme zum grossen Theil wieder in den Ofen zurückgeführt wird, ermöglicht doch jene Benutzung der Abhitze in wirthschaftlicher Beziehung einen theilweisen Ausgleich in zahlreichen Fällen.

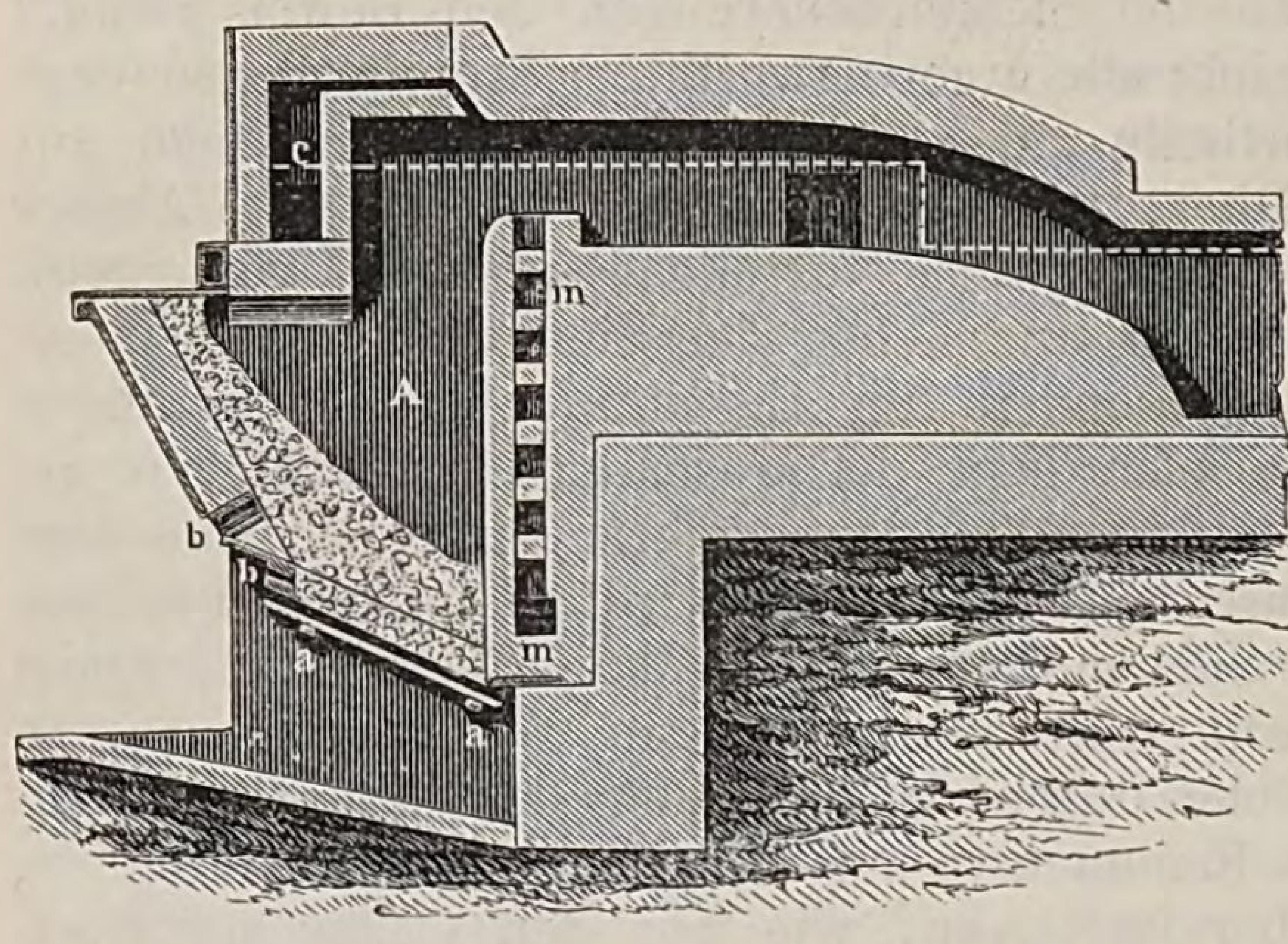
Nicht geeignet sind solche einfachere Gasfeuerungen da, wo die Erzielung einer sehr hohen Temperatur Bedingung ist. Die Temperatur der Verbrennungsluft bleibt weit hinter jener zurück, welche in Siemensöfen erreichbar ist; in demselben Verhältnisse fällt die Verbrennungstemperatur niedriger aus. Bei allen nur in sehr hoher Temperatur durchführbaren Verfahren (Flusseisenerzeugung) sind demnach die Siemensfeuerungen bis jetzt unersetzt geblieben.

Unter den verschiedenen neueren Gasflammöfen ohne Wärmespeicher haben vornehmlich die nachstehend beschriebenen Oefen von Boëtius und von Bicheroux Bedeutung im Eisenhüttenbetriebe erlangt.

Boëtiusofen. Die Abbildungen Fig. 38 und 39 zeigen die Einrichtung dieses im Anfange der sechziger Jahre erfundenen Ofens in $^1/_{75}$ der wirklichen Grösse. *A* ist der Gaserzeuger, 1,8 bis 2 m hoch, 0,9 m breit. Unten ist er durch einen schräg liegenden Rost *aa*, an der Rückseite durch eine geneigte Wand begrenzt, deren Anordnung so ist, dass zwischen ihrer Oberkante und der Rückwand des Ofens ein schmaler Spalt zum Einfüllen des Brennmaterials bleibt, welcher durch dieses selbst verschlossen gehalten wird. Oeffnungen *bb* in dieser

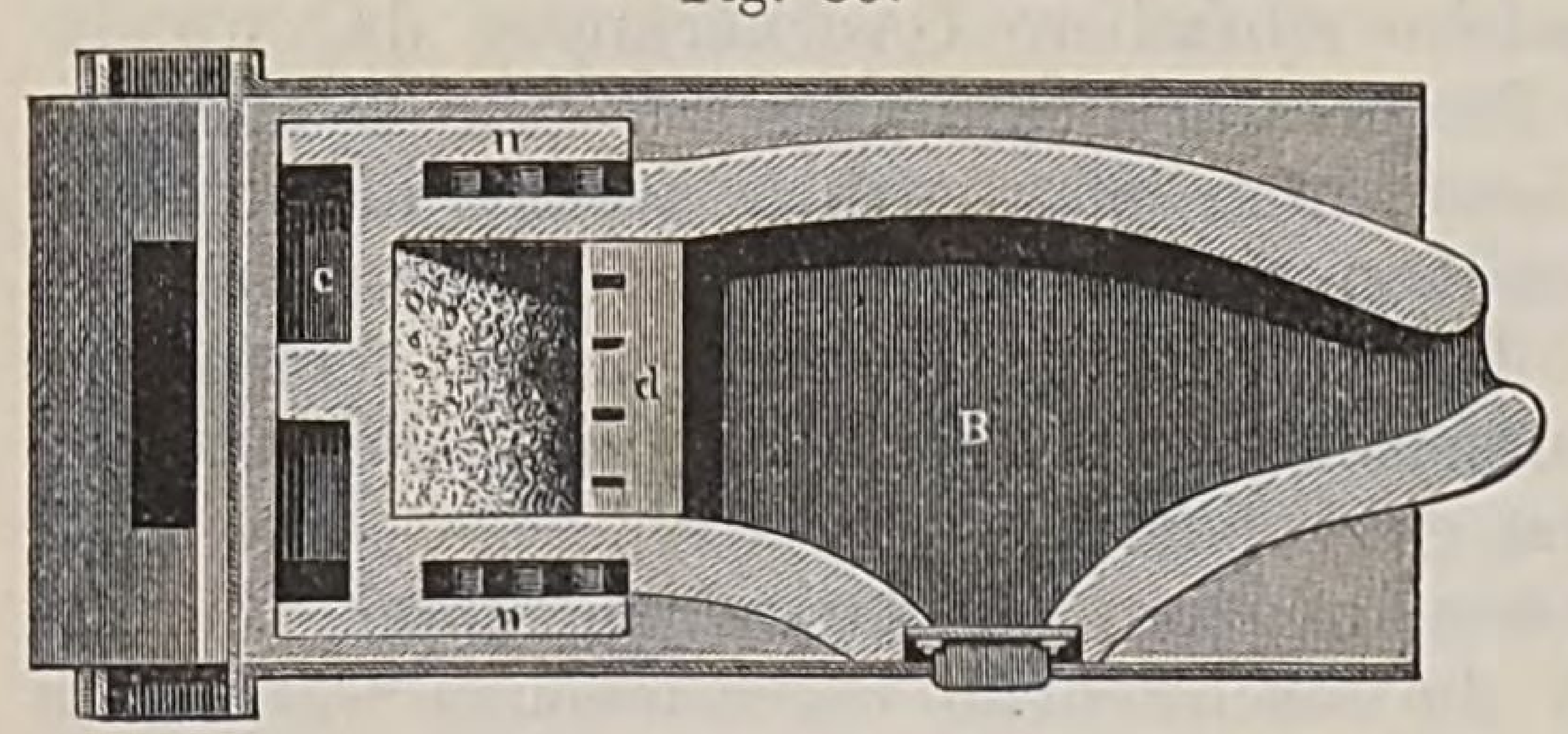
Wand in geringer Entfernung über dem Roste dienen dazu, auch hier noch Luft zuzuführen, sowie nöthigenfalls zur Beseitigung von Versetzungen durch zusammengebackte Kohlen oder gesinterte Asche. Ein Theil der Verbrennungsluft wird in einem innerhalb der Feuerbrücke hin- und herführenden, von unten nach oben aufsteigenden Kanale *mm* erhitzt und strömt dann aus den in der oberen Fläche der Feuerbrücke angebrachten Schlitzen *d* rechtwinklig gegen die über die Feuerbrücke hinziehenden Gase; ein anderer Theil steigt in ähnlich angeordneten Kanälen *nn* innerhalb der Seitenwände des Gaserzeugers aufwärts, gelangt von hier aus in die Kanäle *cc* an der Rückwand und tritt endlich durch mehrere Spalten im Scheitel des Ofens in schräger Richtung abwärts gegen den Gasstrom.

Fig. 38.



Die Schütthöhe des Brennstoffs in den Boëtiusgaserzeugern ist verhältnissmässig gering, und die Folge davon ist die Entstehung eines ziemlich kohlensäurereichen Gases. Der Umstand ist jedoch nicht sehr von Belang, da das Gas sofort in den Ofen eintritt, und somit die bei der Kohlensäurebildung entstehende höhere Temperatur dem Ofen wieder zu Gute kommt. Mitunter hat man sogar den Boëtiusgaserzeuger absichtlich so flach gebaut, dass er einer gewöhnlichen Rostfeuerung ähnlich wird: durch die niedrige Brennstoffschicht dringt bereits ein ziemlich reichlicher Theil der Verbrennungsluft, und nur ein beschränkter Theil der letzteren braucht dem Gasstrome noch im Ofen selbst zugeführt zu werden. Man pflegt eine solche Einrichtung als Halbgasfeuerung zu bezeichnen.

Fig. 39.

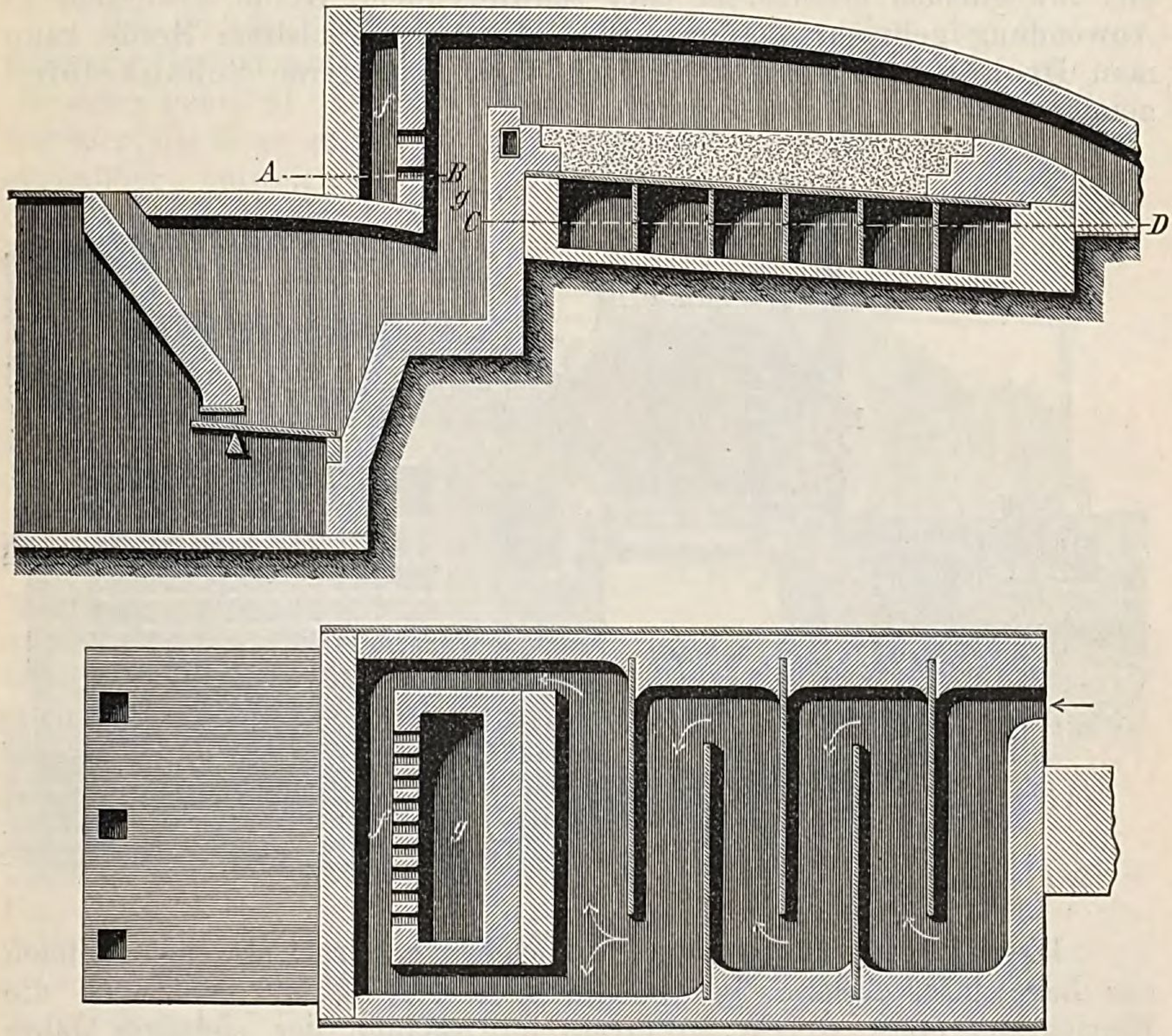


Die Boëtiusfeuerungen sind in den sechziger und siebziger Jahren dieses Jahrhunderts vielfach eingeführt worden, und wo sie damals Eingang fanden, sind sie auch jetzt noch bisweilen in Benutzung. Bei Neuanlagen dagegen macht man von ihnen nur noch ausnahmsweise Gebrauch.

Bicherouxofen. Die Abbildungen Fig. 40 und 41 zeigen in $^1/_{100}$ der wirklichen Grösse die Einrichtung dieses, zuerst um das Jahr 1870 von Toussaint Bicheroux in Duisburg gebauten und seitdem

ziemlich häufig angewendeten Ofens. Von dem in seiner allgemeinen Einrichtung ihm ähnlichen Boëtiusofen unterscheidet er sich durch den grösseren Rauminhalt seines Gaserzeugers und die abweichende Anordnung der Kanäle für die zuströmende Verbrennungsluft. Statt in den Seitenwänden des Gaserzeugers, wie bei jenem Ofen, liegen sie in dem Gemäuer des Ofens, und zwar meistens unterhalb des von einer Gusseisenplatte getragenen Ofenherdes, wie in der Abbildung erkennbar ist. Fig. 41 stellt einen Schnitt durch die Luftkanäle nach der

Fig. 40 und 41.



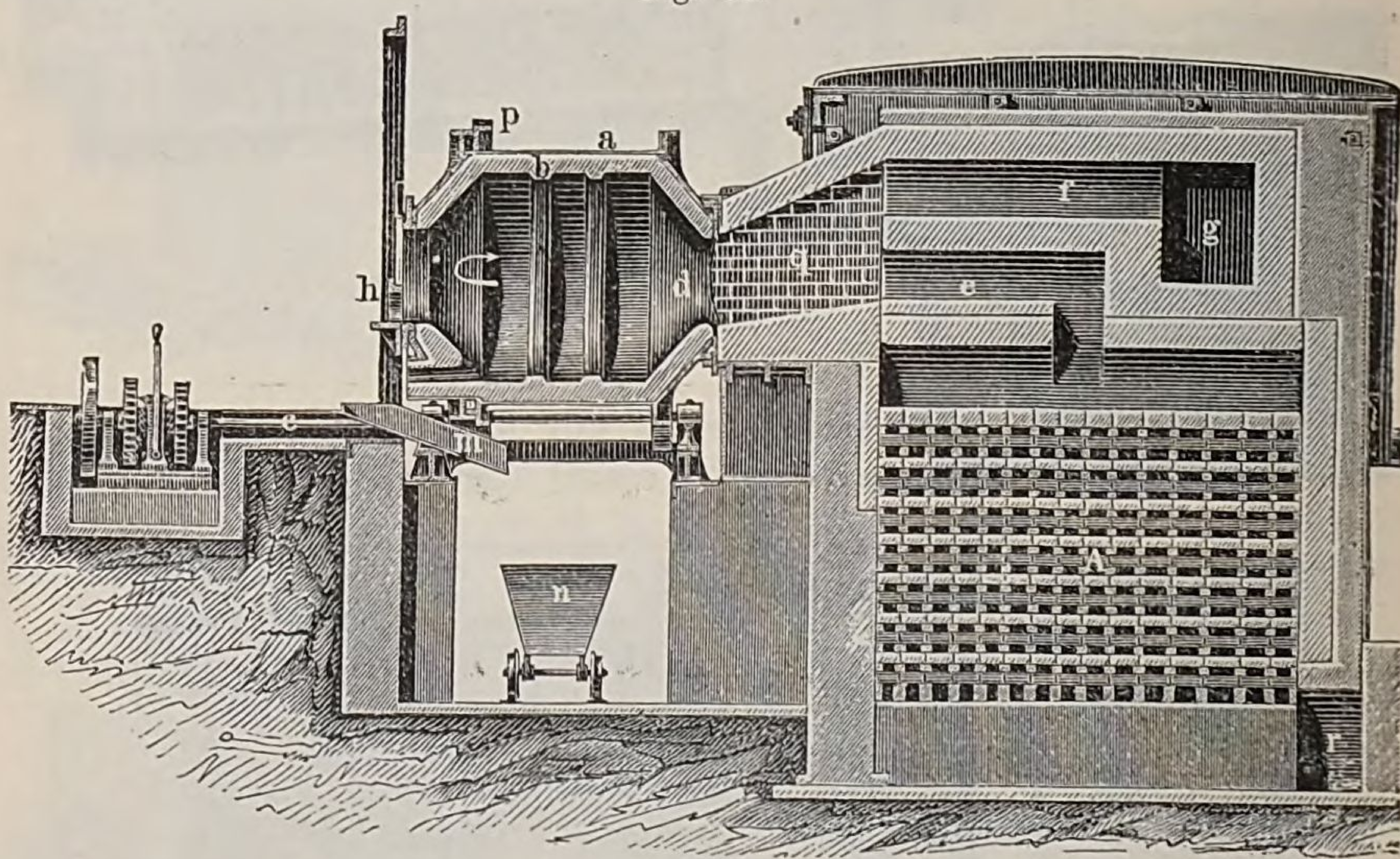
gebrochenen Linie *ABCD* dar. Die Pfeile deuten die Bewegung der Luft an. Sie tritt am Ende des Ofens ein, gelangt in Windungen bis zur Feuerbrücke, sich auf ihrem Wege immer stärker erwärmend, theilt sich hier in zwei Arme, welche in der Rückwand des Ofens sich wieder in dem Kanale *f* vereinigen, und strömt von hier aus durch zwei Reihen Schlitze in wagerechter Richtung auf das im Kanal *g* senkrecht emporsteigende, unmittelbar vom Gaserzeuger kommende Gas.

Flammöfen mit beweglichem Herde.

Wenn auf dem Herde eines Flammofens chemische Einwirkungen hervorgebracht werden sollen, sei es, dass verschiedene feste oder flüssige

Körper dort gemischt sind und auf einander wirken sollen, sei es, dass die vorüberziehenden Gase oxydirende oder reducirende Einflüsse zu üben bestimmt sind, so ist man bei den Oefen der bisher besprochenen Art mit fest stehendem Herde meistens genöthigt, durch Rühren, Umschaufeln oder dergleichen die Berührung der auf einander wirkenden Körper öfters zu erneuern. Diese Arbeit kann entbehrlich werden, wenn man den Herd selbst durch eine mechanische Vorrichtung in eine solche Bewegung versetzt, dass auch die auf ihm angehäuften Körper in Bewegung gerathen, sich mischen, ihre Oberfläche erneuern. Seit dem Ende der fünfziger Jahre dieses Jahrhunderts sind derartige Flammöfen mit beweglichem (drehbarem oder schwingendem) Herde wiederholt in Anwendung gebracht worden. Die Oefen mit drehbarem Herde kann man Drehöfen, diejenigen mit schwingendem Herde Schaukelöfen nennen.

Fig. 42.



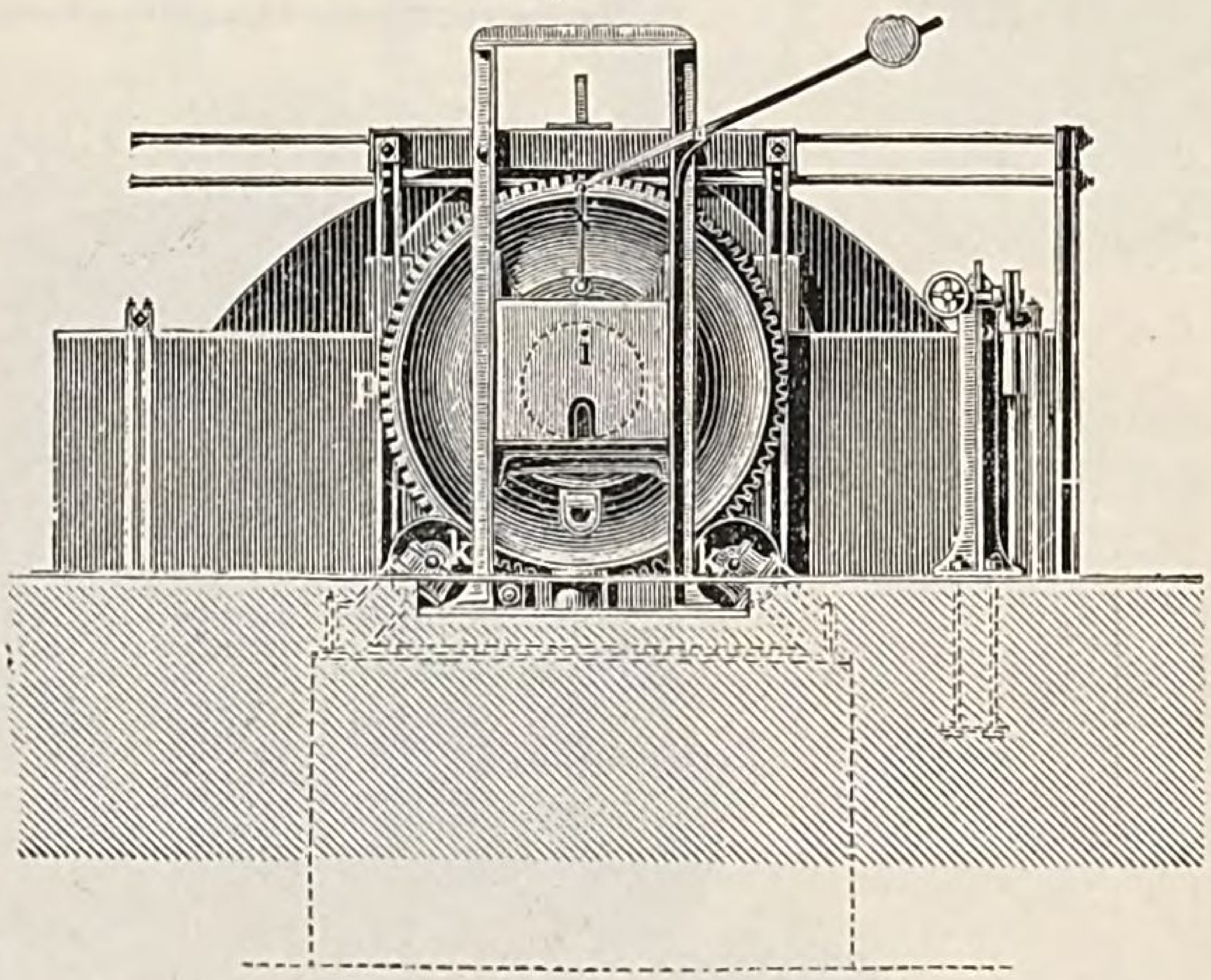
Die Drehöfen haben wieder verschiedene Form, abweichend nach der Lage ihrer Achse. Die Abbildungen Fig. 42 und 43 zeigen die Einrichtung eines von W. Siemens im Anfange der siebziger Jahre gebauten Drehofens mit wagerechter Achse, zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen bestimmt. *a* ist der eigentliche Ofen, aus einem Eisenblechmantel mit feuerfestem Futter bestehend, in der Mitte cylindrisch, nach beiden Enden hin kegelförmig zulaufend. Seine Länge pflegt 2 bis 3,5 m zu betragen, sein äusserer Durchmesser annähernd das gleiche Maass zu besitzen. Er ruht auf vier Rollen *kk* (Fig. 43). Die Drehung wird ihm von der Welle *c* aus ertheilt, welche durch Vermittelung einer Schnecke oder eines Getriebes das auf dem Mantel des Ofens befestigte Getriebe *p* antreibt.

Die Heizung des abgebildeten Ofens geschieht mit Gas, welches, ebenso wie die Verbrennungsluft, in Wärmespeichern, wie bei allen Siemensfeuerungen, vorgewärmt wird. Alle vier Wärmespeicher liegen

in einer Reihe; durch *f* tritt die Luft, durch *e* das Gas in den Ofen, in dem Raume *q* findet die Vermischung statt. Es entsteht eine Hufeisenflamme, und die Verbrennungsgase entweichen durch zwei ebensolche Kanäle wie *e* und *f*, welche von diesen durch eine senkrechte Scheidewand getrennt sind, nach dem zweiten Paar Wärmespeicher. An der den Wärmespeichern gegenüberliegenden Seite des Ofens befindet sich die mit feuerfesten Ziegeln ausgesetzte Schiebethür *i*, welche jedoch nicht mit dem Ofen gedreht wird, sondern zwischen feststehenden senkrechten Führungen auf und nieder bewegt werden kann. Der Wagen *n* dient zur Aufnahme von Schlacke, welche ihm durch die Rinne *m* zufliesst.

Bei anderen Drehöfen dieser Art hat man statt der Siemensfeuerung Rostfeuerung oder irgend eine einfachere Gasfeuerung zur Anwendung gebracht. An der einen Seite des Ofens liegt in diesem Falle, wie hier, die Feuerung; gegenüber entweichen die Gase durch einen Fuchs nach der Esse. Die Anbringung einer Thür, wie bei dem abgebildeten Ofen, ist demnach nicht möglich; damit aber trotzdem das Ofeninnere zugänglich sei, ist der Fuchs mit einem Eisenblechmantel umgeben, welcher es ermöglicht, dass er mit Hülfe eines Krahns oder einer sonstigen Vorrichtung entfernt und wieder an seine Stelle gebracht werden kann.

Fig. 43.

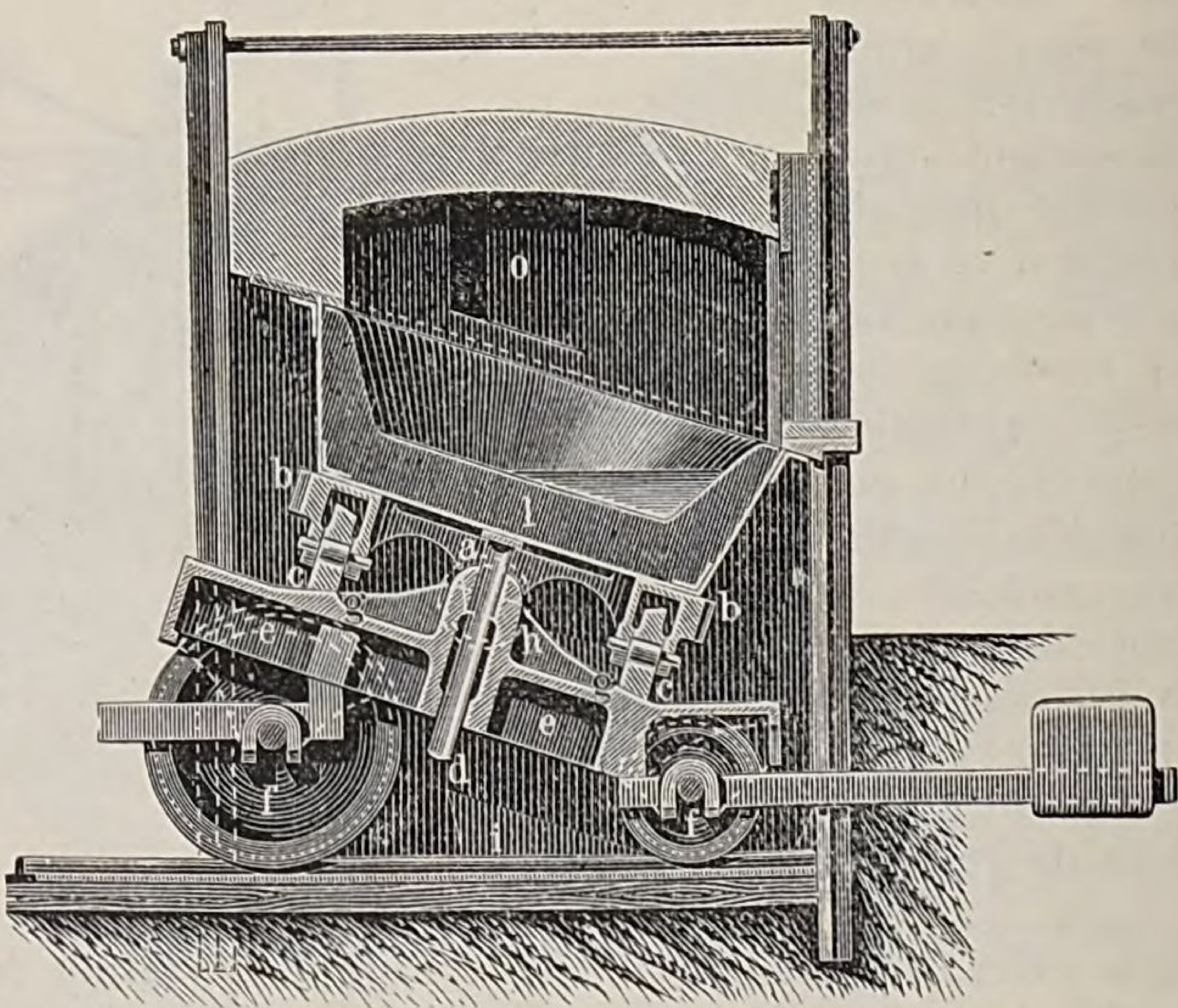


Eine hiervon vollständig abweichende Einrichtung besitzt der in Fig. 44 auf S. 162 abgebildete, von Pernot in den siebziger Jahren eingeführte und seitdem vereinzelt für verschiedene Zwecke in Anwendung gebrachte Ofen. Der Herd hat Tellerform und wird um eine schräg stehende Achse gedreht. *l* ist der Herd, aus starkem Eisenblech hergestellt und mit feuerfestem Material ausgefüttert. In der Mitte sitzt die Achse *d*, in einer Nabe *h* der starken Eisenplatte *e* drehbar. Zur Unterstützung des Herdes dienen ausserdem die Rollen *cc*, welche auf einer entsprechend geformten Bahn der Platte *e* laufen. An dem äusseren Umfange des Gussstücks *a*, auf welchem der Herd befestigt ist, befindet sich der Zahnkranz *b*, im Eingriffe mit einer in der Abbildung nicht sichtbaren Schraube, welche von aussen her durch eine Welle gedreht wird und die Drehung auf den Zahnkranz und hierdurch auf den Herd überträgt. Die Platte *e* wird von Rädern *ff* getragen, welche es ermöglichen, den ganzen Herd nebst Zubehör wie einen Wagen aus dem Ofen seitlich heraus zu schieben, wenn Ausbesserungen vorgenommen werden sollen. Damit aber während des Betriebs dichter Anschluss des Herdes an den

feststehenden Theil des Ofens erzielt werde, ohne dass jene Bewegung des Wagens erschwert werde, ruht die Platte *e* nicht unmittelbar auf den Rädern, sondern auf Hebeln mit Gegengewichten, wie in der Abbildung erkennbar, welche den Herd empordrücken und solcherart den Anschluss herstellen, sobald der Wagen an Ort und Stelle ist, sich aber unschwer anheben lassen, wenn der Herd herausgefahren werden soll. *i* sind die Schienen, auf welchen der Wagen läuft. Der oberhalb des Herdes befindliche Theil des Ofens wird, wie die Abbildung zeigt, durch Eisenbalken getragen; an der einen Seite schliesst sich die Feuerung an, welche Rost- oder Gasfeuerung sein kann, an der andern Seite der Fuchs *o*.

Die geneigte Stellung der Herdachse bewirkt, dass, wenn flüssige Körper sich auf dem Herde befinden, sie sich an der tiefsten Stelle

Fig. 44.



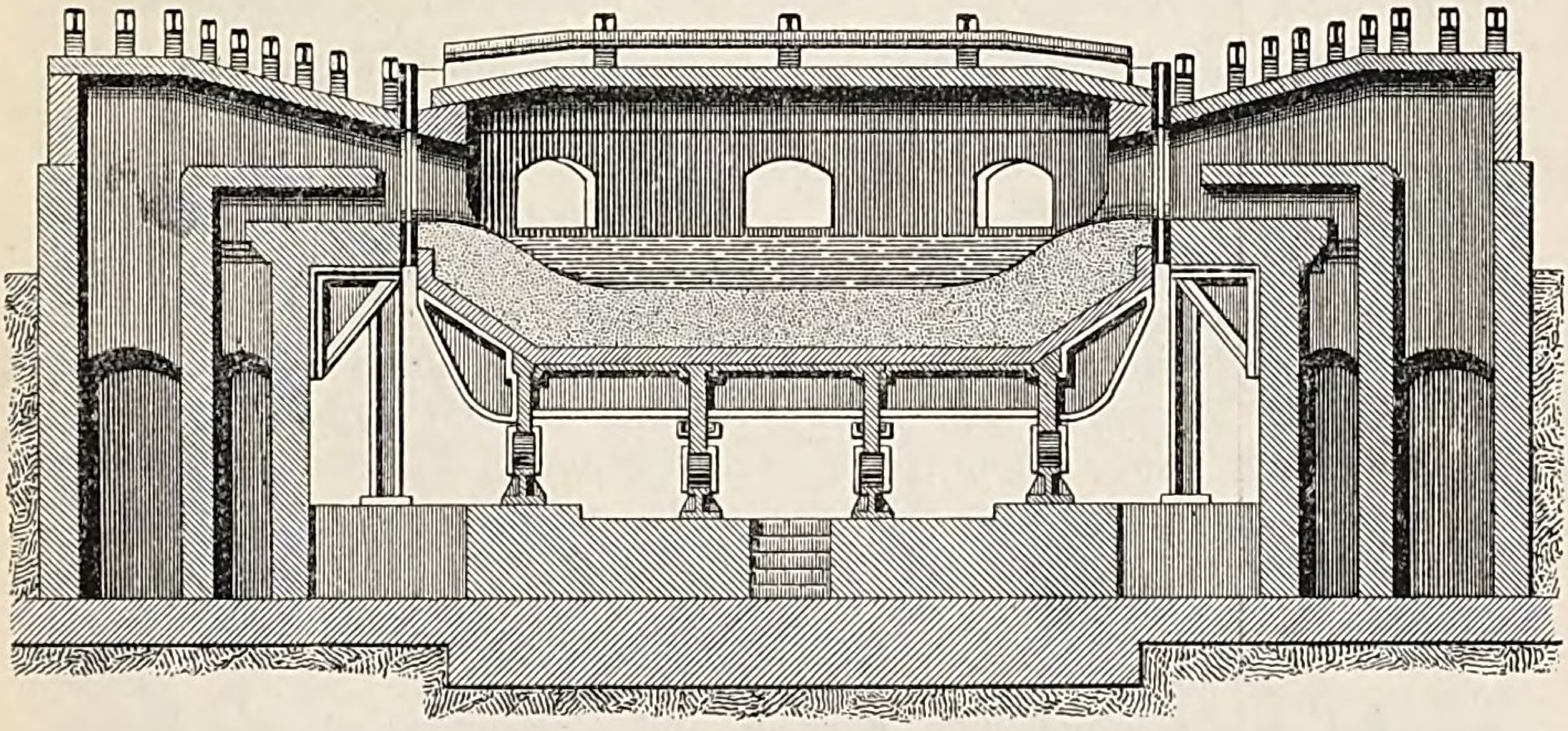
sammeln, statt auf der ganzen Herdfläche ausgebreitet oder während der Drehung nach dem Rande hin getrieben zu werden. Hierdurch wird die gleichmässige Mischung verschiedenartiger Körper befördert, und die Herdsohle, welche an der höchsten Stelle unbedeckt ist, während der Drehung wiederkehrend der umittelbaren Einwirkung der Flamme preisgegeben und hierdurch stark erhitzt.

Als Beispiel eines Schaukelofens kann der in Fig. 45 und 46 abgebildete, von Campbell im Jahre 1890 eingeführte Ofen dienen.[1]) Er ist, wie die Abbildung erkennen lässt, mit Siemensfeuerung versehen. Der Herd, dessen Grundriss gebauchte ⊂⊃ Form besitzt, ruht auf vier starken, senkrecht stehenden und unter einander versteiften

1) Nach einer vom Erfinder dem Verfasser überlassenen Zeichnung; auch Transactions of the American Institute of Mining Engineers vol. 22, p. 345, sowie „Stahl und Eisen" 1892, Seite 1028.

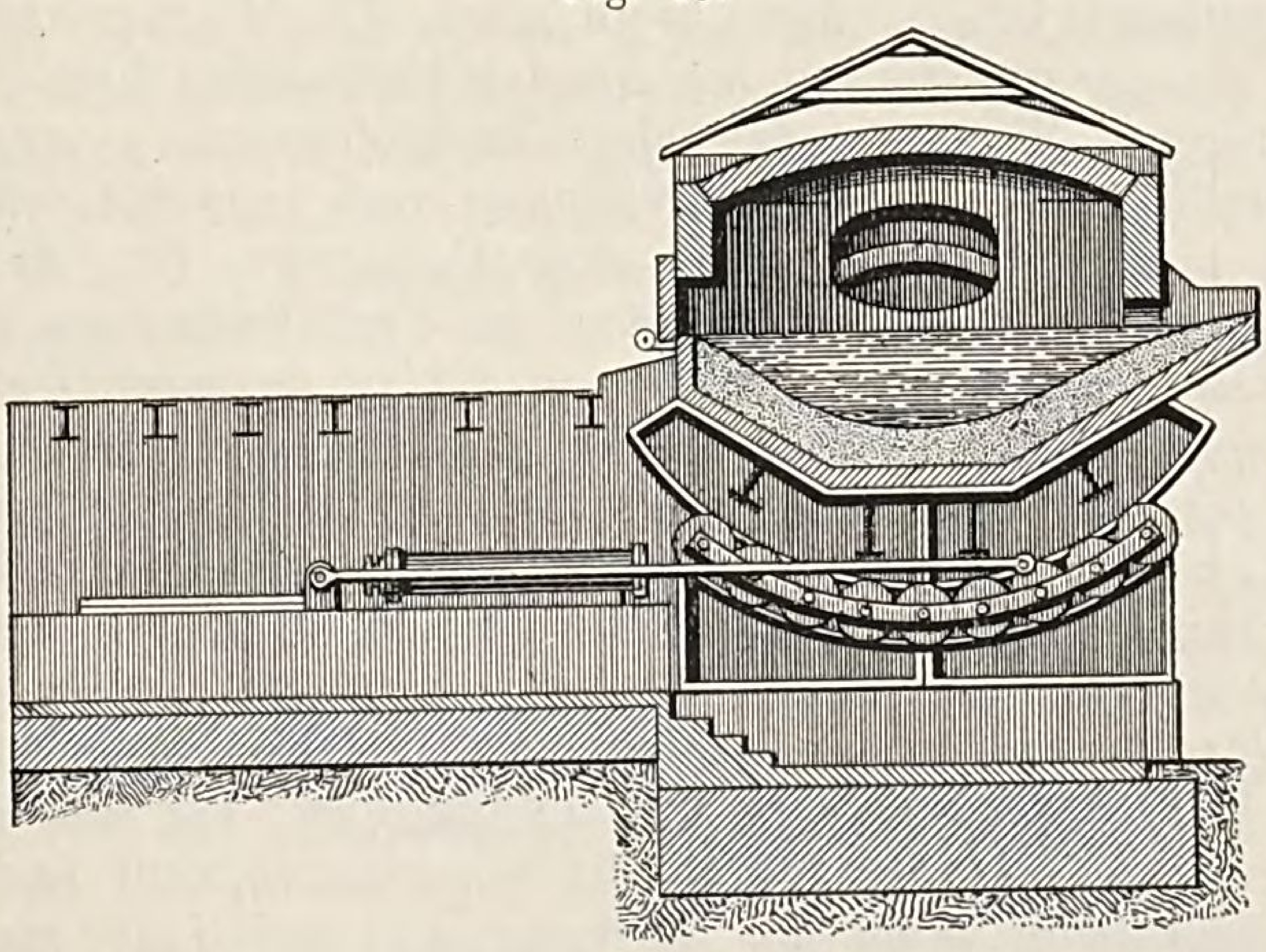
Trägern, deren untere Flächen, wie die Füsse einer Wiege, nach einer Kreislinie gekrümmt sind; kräftige Rollen, auf ebenfalls gekrümmter Bahn laufend, bilden die Unterlage der Träger. Zur Hin- und Herbewegung des Herdes dient der in Fig. 46 sichtbare Wasserdruckcylinder.

Fig. 45.



Seine Kolbenstange treibt ein, links vom Cylinder erkennbares, Querhaupt, von welchem aus zwei Leitstangen die Bewegung auf die mittleren der vier Träger übertragen. Damit der Herd bei der Bewegung nicht Beschädigung erleide, ist er stark verankert und an den beiden Stirn-

Fig. 46.



seiten durch Stahlgussplatten geschützt; auch die Stirnflächen der feststehenden Ofenköpfe sind mit Stahlgussplatten mit eingegossenen Kühlrohren versehen. Die Einrichtung dieses Ofens erfüllt nicht nur den oben erläuterten Zweck aller Oefen mit beweglichem Herde, sondern ermöglicht auch nach Beendigung der Arbeit eine bequeme Entleerung;

man kippt den Ofen und lässt die auf dem Herde befindlichen flüssigen Körper durch die an der rechten Seite (Fig. 46) befindliche Oeffnung auslaufen, welche während der Erhitzung durch einen eingesetzten Stein verschlossen gehalten werden kann.

Der Ofen ist auf amerikanischen Werken für das in der dritten Abtheilung besprochene Martinverfahren in Anwendung.

Wenn bei der Benutzung von Flammöfen mit beweglichem Herde Arbeit und bisweilen auch Brennstoff erspart werden kann, so steht diesem Vortheile doch der Nachtheil gegenüber, dass die Anlage- und Unterhaltungskosten dieser Oefen erheblich höher sind, als derjenigen mit festem Herde, und dass auch die für die Bewegung des Herdes erforderliche mechanische Arbeit nicht ohne Kosten erzeugt werden kann. Diese Nachtheile wiegen in den meisten Fällen schwerer als die erreichbaren Vortheile, und hieraus erklärt es sich zur Genüge, dass die Oefen mit beweglichem Herde weit seltener in Anwendung kommen als die mit feststehendem. Nicht selten hat man erstere, wo sie bereits eingeführt waren, wieder beseitigt und durch Oefen mit festem Herde ersetzt.

Wirkungsgrad der Flammöfen.

Bei den mannigfachen Formen und Verwendungen des Flammofens ist sein Wirkungsgrad ziemlich verschieden. Er ist günstiger, wenn ein Theil der Abhitze wieder in den Ofen zurückgeführt wird (Siemensöfen), als wenn sie, wie bei den Oefen mit Rostfeuerung und den einfacheren Oefen mit Gasfeuerung, für den eigentlichen Zweck des Ofens verloren geht; er ist ferner günstiger, wenn der zu erhitzende Körper auf eine grosse Fläche ausgebreitet, als wenn er in einen kleinen Raum zusammengedrängt oder gar in einen Tiegel eingeschlossen ist.

Auch die am günstigsten arbeitenden Flammöfen besitzen indessen einen niedrigeren Wirkungsgrad als Schachtöfen mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung der wärmeabgebenden und zu erhitzenden Körper. Der Grund hierfür liegt theils in dem Umstande, dass die wärmeabgebende Aussenfläche der Flammöfen im Verhältnisse zu ihrem nutzbaren Rauminhalte, d. h. zu der Menge der in gewissen Zeiträumen zu verarbeitenden Körper, beträchtlich ist, hauptsächlich aber in dem Wegfalle jener für den Schachtofen so bedeutungsvollen Bewegung der zu erhitzenden Körper dem heissen Gasstrome entgegen, welche eine allmähliche Erhitzung durch die Abhitze und dadurch eine sehr günstige Ausnutzung der Wärme ermöglicht.

Bei Herdflammöfen mit Rostfeuerung und unmittelbarer Erhitzung pflegt der Wirkungsgrad 0,08—0,10 zu betragen; bei Gasfeuerung mit Zurückführung der Abhitze durch die Verbrennungsluft und durch die Gase (Siemensöfen) steigt der Wirkungsgrad auf 0,14—0,18; bei Anwendung von Tiegeln sinkt er — selbst in Siemensöfen — auf 0,03—0,04.

3. Das Ofenmauerwerk.

In dem Vorstehenden war nur von der Gestalt und der Verwendung des inneren Raumes der Oefen, welcher zur Wärmeerzeugung

und Wärmeabgabe bestimmt ist, die Rede. Dieser innere Raum ist von einem Ofenkörper eingeschlossen, welcher vollständig oder zum grössten Theil aus Mauerwerk zu bestehen pflegt, und dessen Herstellung alle Aufmerksamkeit des Erbauers erfordert, wenn der Ofen seine Bestimmung erfüllen soll. Denn jenes Ofenmauerwerk muss widerstandsfähig genug sein, um nicht durch die oft recht beträchtlichen physikalischen und chemischen Einflüsse, welchen es ausgesetzt ist (Ausdehnung durch die Wärme und Zusammenziehung beim Erkalten, Wegschmelzen), zerstört oder unbrauchbar gemacht zu werden; es darf aber auch, wenn es als zweckmässig bezeichnet werden soll, in seiner ganzen Einrichtung nicht zu schwerfällig und kostspielig sein, und es soll andererseits auch nicht Veranlassung zu vermeidlichen, dem Zwecke des Ofens nachtheiligen Wärmeverlusten geben.

Je höher die in einem Ofen entwickelte Temperatur ist, desto leichter sind alle dieser Temperatur ausgesetzten Theile des Ofens der Zerstörung unterworfen. Man verwendet daher zur Herstellung des Ofeninnern in den Fällen, wo dunkle Rothgluth überschritten wird, sogenannte feuerfeste Baustoffe, von deren Beschaffenheit unten ausführlicher die Rede sein wird. Da es aber keinen Körper giebt, welcher in den hohen Temperaturen, und unter den chemischen Einflüssen, welche in den Oefen des Eisenhüttengewerbes häufig sich geltend machen, durchaus feuerfest, unschmelzbar wäre, kühlt man vielfach künstlich die der Erhitzung vorzugsweise ausgesetzten Stellen, sei es durch äussere Berieselung mit Wasser, sei es, indem man in die Ofenwand entsprechend geformte Hohlstücke aus Eisen oder Bronze einlegt, durch welche ununterbrochen kaltes Wasser hindurchfliesst. Letzteres Verfahren ist meistens zweckmässiger als das erstere, und es ist gefahrlos, sobald man Sorge trägt, dass das Kühlstück vollständig mit Wasser gefüllt bleibt und die Temperatur des Wassers nicht über 50—60° C. steigt. Man erreicht den Zweck, indem man das Kühlwasser von einem hoch gelegenen Behälter aus den Kühlstücken durch Rohrleitungen zuführt, welche mit Hähnen versehen sind; wo es irgend angeht, lässt man das Kühlwasser an der tiefsten Stelle des Kühlstückes ein- und an der höchsten austreten, um sicher zu sein, dass der ganze innere Raum mit unausgesetzt erneuertem Wasser gefüllt bleibt. Unleugbar ist mit einer solchen Kühlung ein Wärmeverlust verknüpft, dessen Höhe sich aus der Temperaturzunahme und Menge des verbrauchten Kühlwassers berechnen lässt; dieser Nachtheil ist aber verschwindend klein gegen die durch die Kühlung erreichte grössere Haltbarkeit vieler Oefen, und zahlreiche Erfahrungen beweisen, dass auch eine sehr weit getriebene Kühlung eines Ofens selten im Stande ist, eine merkliche Beeinträchtigung der Wärmeausnutzung (des Wirkungsgrades des Ofens) herbeizuführen.

Statt des Wassers bedient man sich bisweilen der Luft als Kühlungsmittel, wenn eine weniger starke Kühlung erforderlich ist, und man benutzt in solchen Fällen die hierbei erhitzte Luft mitunter als Verbrennungsluft bei der Heizung des Ofens. In dieser Weise kühlt man den Herdboden und die Seitenwände mancher Flammöfen (z. B. der oben beschriebenen Bicherouxöfen), die Wände der Gaserzeuger (Boëtiusofen, Seite 158). Da die Luft jedoch 770 mal leichter als das Wasser

und ihre specifische Wärme nur = 0,237 ist, vermag die gleiche Raummenge Luft auch nur eine bedeutend geringere kühlende Wirkung als Wasser zu üben, und ein rascher Luftwechsel ist nöthig, wenn überhaupt eine Wirkung erreicht werden soll.

Von Wichtigkeit ist die Bemessung der richtigen Wandstärke eines Ofens. Es kommen hierbei vornehmlich zwei Aufgaben in Betracht: erstens die Erzielung einer ausreichenden Standfestigkeit und Haltbarkeit des Ofens und zweitens die Vermeidung von Wärmeverlusten durch Wärmeabgabe nach aussen bei zu dünnen Wänden.

Bis vor nicht sehr langer Zeit legte man auf das zuletzt genannte Ziel den grösseren Werth, und man gab deshalb Oefen, in denen beträchtliche Wärmemengen entwickelt werden und eine hohe Temperatur herrschen soll, weit stärkere Wände als lediglich für ihre Haltbarkeit nothwendig gewesen sein würde. Dadurch wurde der Ofen oft recht schwerfällig und kostspielig, und seine Haltbarkeit war nicht selten geringer als wenn man ihn mit weniger starken Wänden umgab. Um diese Thatsache zu verstehen, möge man sich vergegenwärtigen, dass eine dicke Mauer, wenn sie einseitig erhitzt und abgekühlt wird, leichter Risse bekommt als eine dünnere, welche gleichmässiger erwärmt wird und leichter der stattfindenden Ausdehnung und Zusammenziehung nachgiebt; ferner, dass Ofentheile, die von dicken, schlecht wärmeleitenden Wänden umgeben und einer hohen Temperatur ausgesetzt sind, auch selbst stärker hierbei erhitzt werden und daher dem Wegschmelzen eher unterworfen sind, als wenn die Wände dünner sind und dabei unter dem Einflusse der umgebenden, stetig wechselnden Luft auch kühler als jene gehalten werden.

Ausserdem lehrte aber allmählich die Erfahrung, dass jene Ersparung an Wärme im Ofen, die man früher bei der Anwendung dicker Wände als selbstverständlich betrachtete, bei weitem nicht so bedeutend ist, als man im ersten Augenblicke anzunehmen geneigt sein kann; ja, es zeigte sich nicht selten, dass ein Ofen mit dünneren Wänden zur Durchführung desselben Verfahrens nicht mehr Brennstoff erforderte, als ein anderer mit dicken Wänden.

Zur Erklärung dieser Thatsache kommt zunächst in Betracht, dass das Ofeninnere zum grössten Theil mit schlechten Wärmeleitern angefüllt ist. Durch das Innere des Flammofens hindurch ziehen die Gase; das Innere eines Schachtofens enthält neben den aufsteigenden Gasen die festen Brennstoffe, neben welchen die zu erhitzenden Körper gewöhnlich einen nicht bedeutenden Raum einnehmen; wenn Erze erhitzt werden, so sind auch diese schlechte Wärmeleiter. Die von aussen her stattfindende Abkühlung würde demnach, wenn jene Körper in Ruhe sich befänden, nur langsam nach dem Innern vorschreiten können. Ein Zustand der Ruhe aber findet niemals statt. Unausgesetzt wechselt der Gasstrom in jedem Ofen; stetig rücken in einem Schachtofen die festen Körper nach unten, um hier verbrannt oder im erhitzten Zustande aus dem Ofen entfernt zu werden. Diese stetige Erneuerung der im Ofen befindlichen Körper und deren Eigenschaft als schlechte Wärmeleiter ist aber die Ursache, dass jene von aussen her stattfindende Abkühlung nur in einer geringen Entfernung von den Wänden sich bemerkbar machen kann und den bei weitem grössten Theil des Ofen-

querschnitts unbeeinflusst lässt. An den Wänden entsteht eine schmale Uebergangszone, innerhalb welcher die Temperatur rasch von aussen nach innen steigt. So erklärt es sich unschwer, dass man im Stande ist, in einem vollständig aus Eisenblech ohne irgend einen Einsatz aus schlechteren Wärmeleitern (feuerfesten Steinen) hergestellten Ofen, welcher ringsum von Wasser gekühlt ist, Eisen zu schmelzen und auf Weissgluth zu erhitzen, ohne dass der Brennstoffverbrauch übermässig gross wäre und ohne dass der Eisenblechmantel Schaden leidet.[1])

Gestützt auf derartige Erfahrungen nimmt man mit vollem Rechte bei neueren Oefen nicht die Verhinderung der Wärmeverluste nach aussen, sondern die Haltbarbeit des Ofens als Ausgangspunkt für die Bemessung der Wandstärken, und man erhält dabei leichtere und in der Anlage billigere Oefen als in früherer Zeit.

Um dem Ofengemäuer einen gewissen Schutz zu verleihen, pflegt man die Oefen mit einer eisernen Rüstung zu versehen, welche der äussern Form des Ofens entsprechend verschieden eingerichtet ist. Für Schachtöfen mit kreisförmigen Querschnitten benutzt man bisweilen einen aus Eisenblech zusammengenieteten Mantel, häufiger noch begnügt man sich mit ringförmigen, um den Ofen herum gelegten Ankern. Herdflammöfen pflegt man mit senkrecht stehenden, gusseisernen oder aus starken Blechen bestehenden Platten an den Seitenwänden einzufassen, welche durch schmiedeeiserne, oberhalb oder unterhalb des Gemäuers hindurchgehende Queranker zusammengehalten werden und zugleich für den Schub der gewölbten Decke den nöthigen Widerstand bilden. Wegen der leichteren Anbringung dieser Platten pflegt man den Herdflammöfen äusserlich einen rechteckigen Grundriss zu geben.

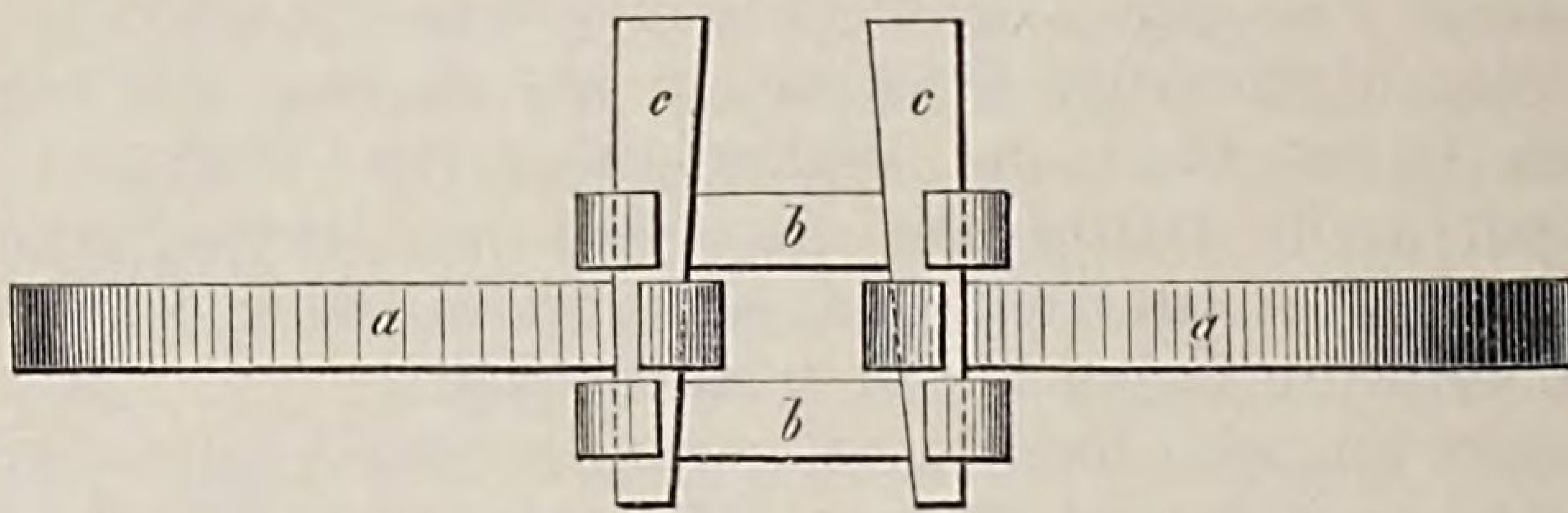
Wenn jedoch ein solcher Ofen einer sehr starken Erhitzung ausgesetzt werden muss, so würde das hierbei sich stärker ausdehnende Ofengemäuer unfehlbar die eiserne Rüstung und Verankerung zersprengen oder selbst Beschädigung erleiden, wenn man nicht hierauf bei Anbringung der Rüstung Bedacht nehmen wollte. Umgiebt man daher Schachtöfen mit einem Eisenblechmantel, so muss zwischen diesem und dem Mauerwerk ein für die Ausdehnung des letztern ausreichender Zwischenraum bleiben, dessen Abmessung mit dem Durchmesser des Ofens und der beabsichtigten Erhitzung im Einklange stehen muss und bei grösseren Oefen dieser Art (z. B. bei den in der zweiten Abtheilung der Eisenhüttenkunde beschriebenen steinernen Wiederhitzern) 50 mm betragen kann. Umgiebt man den Schachtofen nur mit umgelegten Eisenbändern, so muss Sorge getragen werden, dass diese nach dem Anheizen des Ofens gemäss der stattfindenden Vergrösserung des Ofendurchmessers erweitert werden können, oder dass man sie, wenn sie im Anfange nur lose umgelegt waren, nachziehen kann, wenn der Ofen seine volle Temperatur erreicht hat. Die Aufgabe lässt sich unschwer in verschiedener Weise lösen. Bei der in Fig. 47 abgebildeten Verankerung dient ein Keilverschluss für diesen Zweck. *aa* ist das um den Schacht gelegte Eisenband, dessen Enden nach vorn umgebogen sind, *bb* sind zwei Eisenschienen, ebenfalls mit umgebogenen Enden, *cc* sind eiserne Keile, durch deren Anziehen oder Lösen der Durch-

1) Beispiel hierfür: Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, Seite 149.

messer des Reifens, wie leicht ersichtlich ist, verkleinert und vergrössert werden kann.

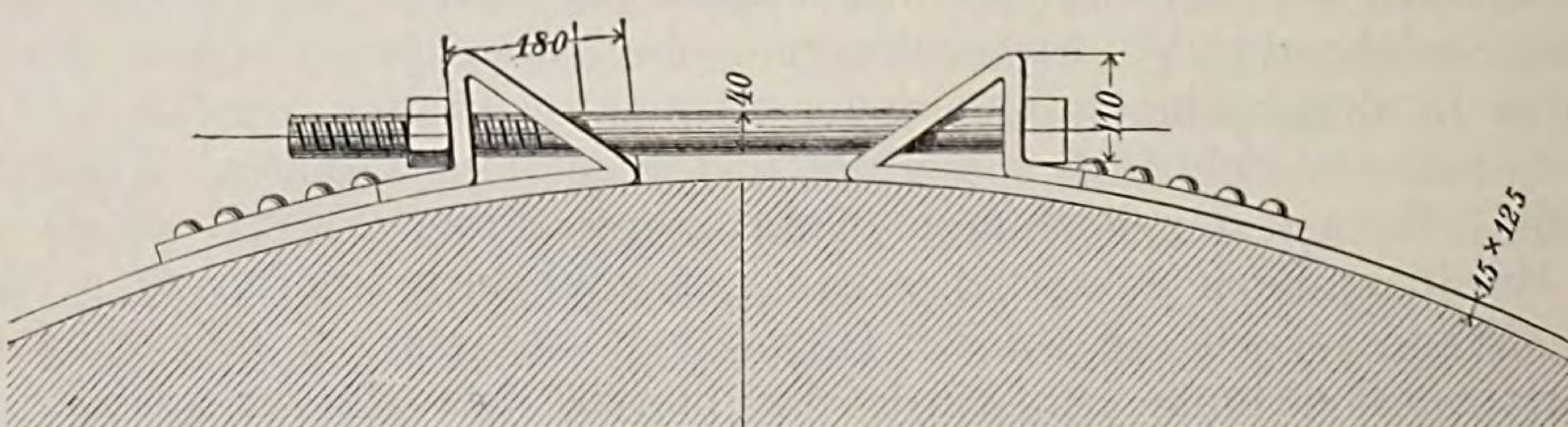
Eine Verbindung durch eine Schraube zu dem gleichen Zwecke ist in Fig. 48 abgebildet, ohne besonderer Erklärung zu bedürfen. Wenn der Durchmesser des Ofens sehr beträchtlich ist (z. B. der Hochöfen),

Fig. 47.



so lässt man das Eisenband (den Reifen) aus zwei oder noch mehr Stücken bestehen, welche sämmtlich in dieser Weise verbunden sind, da jede einzelne Verbindungsstelle nur ein beschränktes Maass der Verstellung ermöglicht.

Fig. 48.



Zu demselben Zwecke schaltet man bei stark zu erhitzenden Flammöfen von grösseren Abmessungen, die mit einer Rüstung von Eisenplatten umgeben und durch Queranker zusammengehalten sind, zwischen den Köpfen der Anker und jenen Platten federnde Zwischenstücke ein, welche dem Ganzen eine gewisse Beweglichkeit sichern und das Abreissen der Anker verhindern (z. B. bei den in der dritten Abtheilung beschriebenen Martinöfen). In Fig. 49 und 50 ist eine solche Verankerung dargestellt. *a* ist das Ofengemäuer mit den als Rüstung dienenden eisernen Platten *b*. *c c* sind Schienen (häufig alte Eisenbahnschienen) zum Festhalten der Platten, *d* der schmiedeeiserne Anker, über welchen die aus Stahl gefertigte Feder *e* geschoben ist.

Fig. 49.

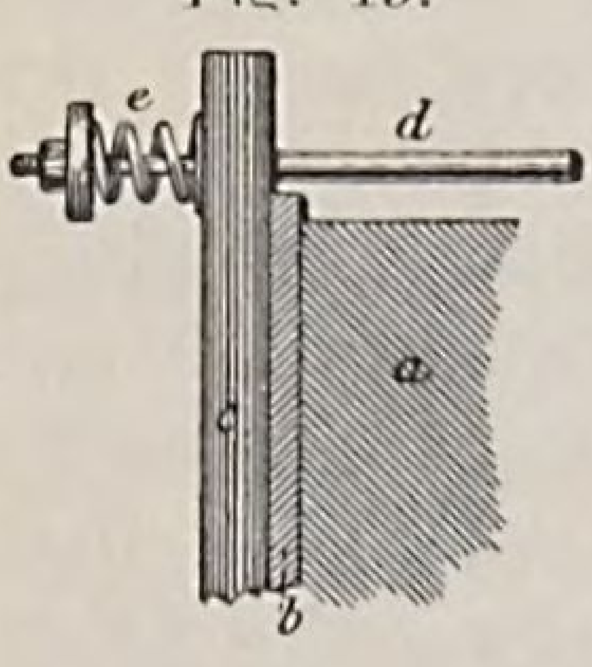
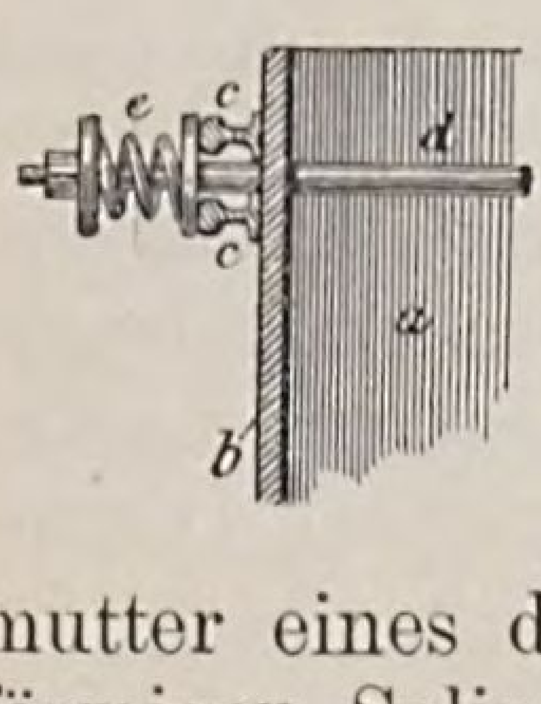


Fig. 50.



Wenn die Ausdehnung des Ofens weniger bedeutend ist (bei kleineren Abmessungen und weniger starker Erhitzung), begnügt man sich, die Muttern der Ankerschrauben nachzuziehen, ohne Federn einzuschalten, oder man bedient sich statt der Schraubenmutter eines durch einen Schlitz des Ankers hindurchgesteckten, keilförmigen Splints, welcher ebenfalls ein Nachziehen gestattet.

4. Die feuerfesten Baustoffe.

Als feuerfeste Baustoffe bezeichnet man diejenigen zum Ofenbau benutzten Körper, welche fähig sind, den in den Oefen für gewerbliche Zwecke entwickelten Temperaturen sowie den in diesen höheren Temperaturen zur Geltung gelangenden physikalischen und chemischen Vorgängen längere Zeit hindurch zu widerstehen. Diese Vorgänge sind ausser der einfachen Schmelzung die Ausdehnung und Zusammenziehung bei wechselnder Temperatur, die Berührung mit anderen hocherhitzten Körpern und die dabei gegebene Gelegenheit, mit diesen Körpern leichterschmelzbare Verbindungen einzugehen.

Hieraus ergiebt sich, dass der Begriff der Feuerfestigkeit keineswegs scharf umgrenzt, sondern abhängig ist von der Art des Verfahrens, bei dessen Durchführung die feuerfesten Materialien benutzt werden sollen. Ein Körper, der in dem einen Falle ausreichend haltbar ist, kann in einem andern Falle unbrauchbar sein, wenn entweder die Temperatur höher ist oder wenn andere chemische Einflüsse sich geltend machen. Ein an und für sich fast unschmelzbarer Körper wird nicht selten schmelzbar, wenn er in Berührung mit anderen Körpern — beispielsweise Asche oder Schlacke von bestimmter Zusammensetzung — gebracht wird. Es folgt hieraus, dass die Wahl des feuerfesten Baustoffs abhängig sein muss von der Art des durchzuführenden Verfahrens, und zwar ebensowohl von der dabei entwickelten Temperatur an und für sich, als von den während des Verfahrens herrschenden chemischen Einflüssen.

Selten oder nie sind jedoch die als feuerfeste Baustoffe benutzten Körper ganz rein; sie enthalten zufällige Nebenbestandtheile, welche in gleicher Weise, aber in noch stärkerem Maasse als die äussere Berührung mit anderen Körpern ihre Feuerbeständigkeit abmindern können. Alkalien, Eisen- und Manganoxyde sind derartige, häufig vorkommende Fremdkörper, welche, in einigermaassen beträchtlicher Menge anwesend, die Schmelztemperatur eines Ofenbaumaterials in einem Maasse erniedrigen können, dass es nicht mehr als feuerfest gelten kann. Ein im reinen Zustande fast unschmelzbares Thonerdesilikat kann schmelzbar werden, wenn es Eisenoxyd, Alkalien, Kalk, Magnesia oder auch grössere Mengen Kieselsäure (als beigemengten Sand) enthält; Kalk und Magnesia, zwei an und für sich unschmelzbare Körper, werden durch einen grösseren Gehalt an Kieselsäure oder Eisenoxyd schmelzbar. Je grösser die Zahl der neben einander anwesenden Fremdkörper ist, desto stärker pflegt ihr Einfluss zu sein.

Die feuerfesten Baustoffe kommen entweder als Gesteine in der Natur vor, die, um verwendbar zu sein, nur noch einer äusseren Bearbeitung (Formgebung) bedürfen, oder sie werden künstlich aus natürlich vorkommenden Rohstoffen dargestellt. Letzteres Verfahren ist in der jetzigen Zeit häufiger, weil man dabei sowohl die chemische Zusammensetzung des Materials als die äussere Form, in der es zur Verwendung kommt, der ins Auge gefassten Verwendung anpassen kann.

Ihrer chemischen Zusammensetzung gemäss lassen sich die wichtigeren feuerfesten Materialien in nachstehend aufgeführte Gruppen sondern.

A. Feuerfeste Baustoffe mit Kieselsäure als Grundbestandtheil.

Kieselsäure an und für sich ist in unseren Oefen unschmelzbar, und Gesteine oder künstlich dargestellte Baustoffe, welche Kieselsäure als Grundbestandtheil enthalten, sind bei zahlreichen Verwendungen die widerstandsfähigsten. Der Fall liegt besonders dann vor, wenn einfache Erhitzung ohne äussere chemische Einwirkungen stattfindet (z. B. der nur von dem Flammenstrome berührten Decke von Flammöfen, der am stärksten erhitzten Stellen von Wärmespeichern bei Siemensfeuerungen und bei ähnlichen Verwendungen).

Nicht brauchbar sind diese Körper, wenn sie in hoher Temperatur mit Alkalien oder alkalischen Erden, Eisen- oder Manganoxyden, oder Schlacken, welche reich an diesen Körpern sind, in Berührung treten, oder auch, wenn sie raschen Temperaturwechseln unterworfen sind, unter deren Einflusse sie leicht zerspringen.

Als feuerfeste Gesteine dieser Gruppe verdienen Erwähnung:

Quadersandstein, aus Quarzkörnchen mit thonigem Bindemittel bestehend, dient mitunter als Zustellungsmaterial für Holzkohlenhochöfen und andere Zwecke, wo der Stein nicht mit einer basischen Schlacke in Berührung kommt. Zu vermeiden sind Steine mit sogenannten eisenschüssigen, durch ihre braune Farbe kenntlichen Stellen. Beim Einbauen der Steine ist Rücksicht darauf zu nehmen, dass die Lagerungsflächen (Spaltungsflächen) rechtwinklig gegen das Ofeninnere gerichtet sind, weil sonst leicht ein Abspalten der Stücke beim Erhitzen eintritt.

Puddingstein, Feuersteinknollen, welche durch feuerstein- oder hornsteinartiges Bindemittel verkittet sind. Er kommt vorwiegend in England und Belgien vor und wird dort als feuerfestes Material benutzt.

Kieselschiefer, ein schiefriges, im Wesentlichen aus Quarzkörnern bestehendes Gestein von weissgrauer Farbe. Ein als Ofenbaumaterial besonders geschätztes Vorkommniss wird in der Gegend von Brieg in Schlesien gefunden und mit Vorliebe für den Bau von Flammöfen, insbesondere der Decke, verwendet.

Granit mit etwa 72 v. H. Kieselsäure, 16 v. H. Thonerde, daneben Eisen, Kalkerde, Magnesia und Alkalien enthaltend, ist mitunter, wenn auch selten, als feuerfestes Material benutzt worden, insbesondere in Fällen, wo nicht gerade die höchsten Temperaturen erzeugt wurden.

Ganister, ein bei Sheffield unter den Steinkohlenschichten, sowie in der Gegend zwischen Bonn und Coblenz vorkommendes Gestein mit 1—7 v. H. Thonerde und Eisenoxyd, übrigens aus feinen Quarzkörnern bestehend, wird als Material zum Auskleiden der Bessemerbirnen benutzt. Man zerkleint ihn für diesen Zweck, vermengt ihn mit wenig Thon als Bindemittel, feuchtet mit Wasser an und verarbeitet die solcherart gewonnene Masse durch Einstampfen.

Dinasziegeln nennt man künstlich dargestellte, der Hauptsache nach aus Quarzkörnern bestehende feuerfeste Steine. Ihren Namen verdanken sie dem Umstande, dass man ursprünglich für ihre Herstellung Gestein von dem aus Quarz bestehenden Dinasfelsen im Thale von Neath in Glamorganshire benutzte. Im Uebrigen verwendet man Quarz von verschiedenen Fundorten, sofern er ausreichend rein ist, für den gleichen Zweck. Das Gestein wird gemahlen, mit 1 bis 2 v. H. des Eigengewichts gebranntem Kalk als Bindemittel (in deutschen Fabriken

benutzt man bisweilen Thon statt des Kalks) vermischt, zu Steinen geformt und in Weissgluth gebrannt. Wie alle künstlich dargestellten feuerfesten Baustoffe besitzen die Dinassteine vor den natürlich vorkommenden, aus Kieselsäure bestehenden Gesteinen den Vortheil, dass man bei ihrer Bereitung schädlich wirkende Fremdkörper leichter fernhalten kann. Sie bilden das vorzüglichste Material in jenen schon erwähnten Fällen, wo eine sehr starke Erhitzung ohne äussere chemische Einwirkungen durch andere Körper stattfindet. Empfindlicher noch als manche natürlich vorkommende Gesteine sind die Dinasziegeln gegen raschen Temperaturwechsel; sie zerspringen hierbei leicht in Stücke und müssen deshalb nach Möglichkeit davor geschützt werden. Beim Erhitzen pflegen sie trotz des vorausgegangenen Brennens eine mehr oder minder starke bleibende Ausdehnung zu erfahren, worauf beim Einbau Rücksicht zu nehmen ist.

Der Kieselsäuregehalt der Dinasziegeln beträgt gewöhnlich 96 bis 97 v. H. ihres Gewichts.

B. Feuerfeste Baustoffe mit thonigem Grundbestandtheil.

Reine Thonerde (Al_2O_3) ist zwar unschmelzbar, kommt aber in der Natur zu selten vor,[1]) um als feuerfester Baustoff Verwendung finden zu können. Sehr häufig dagegen werden die von der Natur in reichen Mengen gelieferten Silikate der Thonerde zu feuerfesten Materialien verarbeitet. Den chemischen Einflüssen basischer Körper gegenüber sind die thonigen feuerfesten Baustoffe widerstandsfähiger als die aus Kieselsäure bestehenden, und durch Kieselsäure oder kieselsäurereiche Körper (Schlacken) werden sie weniger als die unten besprochenen basischen feuerfesten Baustoffe angegriffen. Dem Zerspringen bei plötzlichem Temperaturwechsel sind sie, zumal bei entsprechender Zubereitung, weniger leicht als quarzige Gesteine und Dinasziegeln unterworfen. Diese Vorzüge machen es erklärlich, dass unter allen feuerfesten Baustoffen diese am häufigsten Benutzung finden. Schwieriger aber als bei Bereitung der Dinasziegeln ist es, ein von schädlich wirkenden Fremdkörpern ausreichend freies Grundmaterial zu erlangen, und daher giebt man jenen in solchen Fällen den Vorzug, wo es sich lediglich um Widerstandsfähigkeit in sehr hohen Temperaturen handelt, ohne dass äussere chemische Einwirkungen dabei zur Geltung gelangen können.

Bauxitziegeln, aus dem Bauxit, einem vorwiegend in Frankreich[2]) vorkommenden Mineral gefertigt, welches als Grundbestandtheil Thonerdehydrat, daneben aber stets mehr oder minder reiche Mengen von Fremdkörpern enthält, so dass seine Zusammensetzung 50 bis 80 v. H. Thonerde, 1 bis 12 v. H. Kieselsäure, 1 bis 5 v. H. Eisenoxyd (in weniger feuerbeständigem Bauxit ist der Eisenoxydgehalt oft erheblich höher), 12 bis 15 v. H. Wasser aufzuweisen pflegt. Man brennt den Bauxit, mischt ihn mit Wasser und etwas frischem feuerfestem Thon, formt Ziegeln daraus und brennt sie. In einzelnen Fällen sind diese Bauxitziegeln mit Vortheil benutzt worden; eine sehr häufige Anwendung ist

1) Verschiedene Edelsteine: Korund, Sapphir, Rubin bestehen aus krystallisirter Thonerde mit geringen färbend wirkenden Beimengungen.

2) Der Name stammt von dem Fundorte Baux bei Arles.

schon durch das beschränkte Vorkommen ausgeschlossen. Als ein Nachtheil wird auch ihre Neigung, in hohen Temperaturen stark zu schwinden, bezeichnet.

Feuerfester Thon und die daraus bereiteten Ofenbaustoffe (Schamott, feuerfeste Masse). Reiner Thon ist ein wasserhaltiges Thonerdesilikat, dessen Zusammensetzung der chemischen Formel: Al_2O_3, $2SiO_2 + 2H_2O$, entspricht und welches demnach

Thonerde	39,77	v. H.
Kieselsäure	46,33	„ „
Wasser	13,90	„ „

enthält. Beim Brennen verliert er seinen Wassergehalt, und auch in den höchsten Temperaturen zeigt er nur schwache Sinterung. Aller in der Natur vorkommende Thon enthält jedoch eingemengte Fremdkörper, insbesondere Sand (grösstentheils Quarzkörnchen), ferner Eisenoxyd, Alkalien und alkalische Erden, welche seine Feuerbeständigkeit beeinträchtigen.[1]) Der reinste Thon ist das zur Porzellandarstellung benutzte Kaolin.

Nach Analysen von Bischof enthielten z. B.:

	Thonerde	Kieselsäure gebunden	Sand	Erden, Alkalien, Eisenoxyd	Glühverlust
Sehr strengflüssiger Thon von Saarau	36,30	38,94	4,90	1,26	17,78
Böhmischer feuerfester Thon	38,54	40,53	5,15	2,04	13,00
Mässig feuerfester Thon aus der Pfalz	35,05	39,05	8,01	6,75	10,51
Weniger feuerfester Thon aus dem Siegenschen	28,05	30,71	27,61	4,75	8,66

Der sandreichste Thon unter diesen ist der am wenigsten feuerbeständige. Bei der chemischen Untersuchung eines Thons zum Zwecke der Beurtheilung seiner Brauchbarkeit muss daher die an Thonerde gebundene Kieselsäure getrennt von der als Sand beigemengten bestimmt werden.

Alle Thone besitzen, wenn sie mit Wasser angefeuchtet sind, eine grosse Bildsamkeit, und die aus ihnen geformten Gegenstände erhärten, wenn sie getrocknet und gebrannt werden. Gut bildsame Thone nennt man fette, weniger bildsame magere Thone. Mechanisch eingemengte Fremdkörper beeinträchtigen die Bildsamkeit. Bei dem Trocknen und Brennen aber zieht sich der Thon, insbesondere der feuerfeste Thon, zusammen, während er seinen Wassergehalt entlässt, er schwindet, und die Folge davon ist die Entstehung von Rissen.

Gebrannter Thon hat, auch wenn er auf's Neue mit Wasser angefeuchtet oder eingeweicht wird, infolge des Verlustes seines chemisch gebundenen Wassergehalts seine Bildsamkeit eingebüsst und schwindet nicht mehr, wenn er abermals gebrannt wird.

1) Thon, welcher zur Anfertigung der gewöhnlichen (nicht feuerfesten) Ziegeln benutzt wird, ist so reich an jenen Fremdkörpern, dass schon in heller Rothgluth Sinterung oder gar Schmelzung einzutreten pflegt.

Jene Eigenschaft des Schwindens und Reissens beim Trocknen und Brennen würde die Verwendung des Thons zur Herstellung feuerfester Körper erheblich erschweren; man führt sie auf ein geringeres Maass zurück, indem man ihn mit anderen Körpern in Körnerform vermengt, welche selbst nicht schwinden, in Berührung mit dem Thone unschmelzbar sind und, da sie die Bildsamkeit des Thons abmindern, Magerungsmittel genannt werden.

Die Wirkung dieser Magerungsmittel ist einfach. Da innerhalb desselben Raumes um so geringere Mengen des schwindenden Körpers, des Thons, zugegen sind, je mehr Magerungsmittel man zugesetzt hatte, muss auch die Schwindung entsprechend kleiner ausfallen. Zwischen den eingemengten Körnchen und dem sie umschliessenden Thone aber entsteht bei dem Schwinden des letzteren ein kleiner Zwischenraum; auf diese Weise erhält das Ganze eine gewisse Durchlässigkeit, durch welche das Entweichen der sich bildenden Wasserdämpfe erleichtert wird und welche zugleich die Sprödigkeit des gebrannten Thonkörpers abmindert. Dieser erträgt deshalb auch leichter Temperaturveränderungen ohne zu reissen. Die Menge dieser Zusätze muss sich nach der Beschaffenheit des benutzten Thons richten und kann um so grösser sein, je fetter dieser ist. Nicht selten kann man mehr als doppelt so viel Magerungsmittel geben als die Menge des rohen Thons beträgt.

Das wichtigste dieser Magerungsmittel ist schon gebrannter feuerfester Thon, Schamott genannt. Da dieser selbst nicht mehr schwindet, erfüllt er in vorzüglicher Weise seine Aufgabe. Man vermengt ihn mit nur so viel frischem Thone, dass das Gemenge im angefeuchteten Zustande bildsam genug ist, um sich formen zu lassen. Wird dieser so zubereitete Thon zu Ziegeln geformt, welche vor der Benutzung in hoher Temperatur gebrannt werden, so nennt man diese Schamottziegeln;[1]) benutzt man aber das noch feuchte, bildsame Gemenge, um ohne Weiteres das Ofeninnere durch Einstampfen damit auszukleiden, oder (in der Giesserei) Gussformen daraus zu fertigen und dann erst die ihrer Form nach fertigen Theile zu trocknen und zu brennen, so nennt man es Masse.

Wie die durch Brennen frischen Thons bereitete Schamott lassen sich benutzte Schamottziegeln oder Masse wieder als Magerungsmittel verwenden, indem man sie zerkleint und auf's Neue mit frischem feuerfesten Thone mischt.

An Stelle des gebrannten Thons benutzt man mitunter reinen Quarz, zu etwa erbsengrossen Stücken zerkleint, als magernden Zusatz bei der Bereitung des Materials für die feuerfesten Thonziegel oder der Masse. Zwar erniedrigt Quarzsand in feiner Vertheilung, wie oben erwähnt wurde, die Feuerbeständigkeit des Thons; je gröber aber die einzelnen Stücke sind und je weniger Oberfläche sie dem Thone demnach darbieten, desto geringer ist das Maass dieses Einflusses.

Für gewisse Zwecke giebt man dem feuerfesten Thone auch kohlenstoffhaltige Körper: Graphit, Koks- oder Holzkohlenstückchen, als magernden Zusatz. Ihre völlige Unschmelzbarkeit macht sie zu einem in vielen

1) Im weiteren Sinne nennt man alle aus feuerfestem Thon unter Zusatz von Magerungsmitteln bereiteten Ziegeln Schamottziegeln.

Fällen sehr geeigneten Magerungsmittel. Am häufigsten wird, insbesondere für Anfertigung von feuerfesten Tiegeln, Graphit benutzt; die eigentlichen Graphittiegel bestehen oft zu zwei Drittel ihres Gewichts aus Graphit mit einem Drittel Thon.

Bei der Auswahl des Graphits muss Sorge getragen werden, dass er nicht selbst Körper enthalte, welche unter sich oder mit dem Thone leicht schmelzbare Verbindungen bilden: Alkalien, Erden, Eisenoxyd u. a. m.

Berühmt und für Schmelztiegelanfertigung geschätzt sind die Graphite von Passau in Bayern, Ceylon, Sibirien.

Einige Graphite werden durch Schlämmen, andere durch Glühen für sich allein oder mit Alkalien und späteres Behandeln mit Säuren von ihren schädlichen Beimengungen befreit. Die Beschaffenheit des Graphits selbst kann nur darüber entscheiden, welcher Weg für die Reinigung der geeignetste sei. Einiges Nähere über die Zusammensetzung der Graphittiegel wird in der dritten Abtheilung dieses Buchs bei Besprechung der Tiegelstahlerzeugung mitgetheilt werden.

C. Basische feuerfeste Baustoffe.

Sie werden vornehmlich dann benutzt, wenn bei irgend einem Verfahren stark basische Schlacken gebildet werden müssen. In Berührung mit kieselsäure- oder thonreichen Körpern würden die Schlacken von diesen leicht gewisse Mengen auflösen und dadurch ihre basische Beschaffenheit verlieren.

In einzelnen Fällen benutzt man **Eisenoxyde** — **Erze, Hammerschlag** oder **eisenreiche Schlacken** — als Material zum Auskleiden der Oefen. Die Veranlassung dafür ist vornehmlich dann gegeben, wenn eisenreiche Schlacken bei der Durchführung eines Verfahrens zugesetzt oder gebildet werden müssen, deren Eisengehalt durch die Aufnahme der Bestandtheile anderer feuerfester Baustoffe erniedrigt werden würde. Immerhin ist die Feuerbeständigkeit der Eisenoxyde beschränkt, und für Verfahren, welche einer sehr hohen Temperatur bedürfen, sind sie nicht geeignet.

Widerstandsfähiger als Eisenoxyd ist **Chromeisenerz,** sofern es nicht schädlich wirkende Körper in grösseren Mengen enthält. Es besteht der Hauptsache nach aus Eisenoxydul und Chromoxyd, jedoch pflegt ein Theil des Eisenoxyduls durch Magnesia, des Chromoxyds durch Thonerde ersetzt zu sein, neben welcher auch Eisenoxyd (Fe_2O_3) auftreten kann. Die mineralogische Formel für seine Zusammensetzung ist demnach $(Fe, Mg)O + (Cr_2, Al_2, Fe_2)O_3$; sein Gehalt an Chromoxyd schwankt zwischen 7 bis 65 v. H., an Thonerde von 1 bis 56 v. H., an Eisenoxydul von 14 bis 43 v. H., an Magnesia von 7 bis 24 v. H.[1]) Dieser Zusammensetzung gemäss besitzt es keine stark ausgeprägte basische Beschaffenheit und es widersteht in der That auch kieselsäurereichen Schlacken in starkem Maasse. Man benutzt es bisweilen zur Auskleidung von Flammöfen, in welchen hohe Temperaturen entwickelt werden (Martinöfen, in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde be-

1) Analysen: H. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 2, Seite 241.

sprochen), wobei es entweder in Form grösserer Stücke oder von Ziegeln Verwendung findet, die aus dem gemahlenen Erz unter Zusatz eines Bindemittels (Theer, Kalk) gefertigt werden. Der hohe Preis des Chromeisenerzes und der Umstand, dass seine Feuerbeständigkeit in Anbetracht seiner schwankenden Zusammensetzung ein verschiedenes Maass besitzt, machen es jedoch erklärlich, dass die Benutzung für den in Rede stehenden Zweck ziemlich selten geblieben ist.[1])

Zu hoher Bedeutung im Eisenhüttenbetriebe sind dagegen seit dem Jahre 1878 solche feuerfesten Baustoffe gelangt, welche Kalk, Magnesia oder beide Körper zusammen als Grundbestandtheil enthalten.[2])

Im reinen Zustande sind beide Körper sowohl einzeln als in Vermischung mit einander unschmelzbar. Geringe Mengen von Kieselsäure oder Thonerde beeinträchtigen nicht wesentlich ihre Feuerbeständigkeit; ein grösserer Gehalt würde sie zur Benutzung als feuerfester Baustoff ungeeignet machen. Nicht minder gefährlich sind Eisenoxyde in reichlichen Mengen, welche leicht schmelzbare Verbindungen mit Kalk und Magnesia bilden; ein geringer Eisenoxyd- oder Thonerdegehalt, welcher das Fritten beim Brennen erleichtert, ist dagegen oft erwünscht. Das am häufigsten zur Herstellung dieser basischen feuerfesten Baustoffe benutzte Gestein ist der **Dolomit**, welcher neben ungefähr 45 v. H. Kohlensäure 30 v. H. Kalkerde, 20 v. H. Magnesia, 1 bis 2 v. H. Kieselsäure, ebensoviel Thonerde und kleine Mengen Eisenoxydul und andere Fremdkörper zu enthalten pflegt. Ein höherer Eisenoxydulgehalt als 3 v. H. würde der Verwendbarkeit des Dolomits als feuerfestes Material nachtheilig sein; auch ein wesentlich höherer Kieselsäuregehalt, als angegeben, ist nicht zulässig. Je magnesiareicher der Dolomit ist, desto besser eignet er sich für den in Rede stehenden Zweck.[3])

Zur Bereitung des feuerfesten Baustoffs wird der Dolomit zunächst in Weissgluth bis zum Sintern gebrannt. Diese starke Erhitzung ist nothwendig, weil er hierdurch erst die Eigenschaft verliert, an der Luft rasch wieder Feuchtigkeit und Kohlensäure aufzunehmen, wodurch er für die fernere Verwendung unbrauchbar werden würde. Man nennt daher die Erhitzung bis zu jenem Grade Todtbrennen des Dolomits. Zum Brennen pflegt man sich eines Schachtofens zu bedienen, den zum Umschmelzen des Roheisens dienenden, in der zweiten Abtheilung der Eisenhüttenkunde beschriebenen Kupolöfen ähnlich und deshalb ebenfalls häufig Kupolofen genannt.

Die Abbildungen Fig. 51 und 52 zeigen in $^1/_{80}$ der wirklichen Grösse die Einrichtung eines solchen Dolomitbrennofens auf einem oberschlesischen Eisenwerke. Der ganze Ofen sammt der Esse ist durch

1) Vergl. u. a. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 643.

2) Die erste Anwendung fanden diese Materialien bei dem in dem genannten Jahre durch Thomas und Gilchrist erfundenen Thomasverfahren (in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde beschrieben), welches erst durch ihre Benutzung möglich wurde.

3) Dolomit, auf einem mitteldeutschen Eisenwerke zur Herstellung basischer Ziegeln benutzt, enthielt z. B.:

CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CO_2	H_2O
30,12	19,21	1,35	2,05	0,26	44,97	2,00.

Sonstige Analysen: „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 623.

einen Eisenblechmantel von 10 mm Stärke eingeschlossen, und wird durch Gebläsewind betrieben. Der Wind gelangt zunächst in den rings um den Ofen herumlaufenden, an den Mantel angenieteten Vertheilungskanal *a* und aus diesem durch sechs kreisrunde Oeffnungen (Formen) von je 300 mm Durchmesser in den Ofen. Hinter jeder dieser Windformen ist, wie Fig. 51 erkennen lässt, in der Rückwand des Kanals eine zum Oeffnen eingerichtete, mit einer Glas- oder Glimmerplatte verschlossene Schauluke angebracht, durch welche man die Vorgänge im Inneren beobachten und erforderlichen Falls Versetzungen vor den Formen losbrechen kann. Das Einschütten der Materialien erfolgt durch die zwei einander gegenüberliegenden Oeffnungen *b* oberhalb einer zu diesem Zwecke angebrachten Gichtbühne; zum Ausräumen des gebrannten Dolomits dienen die am Fusse befindlichen sechs Ziehöffnungen *c c* . ., welche während des Blasens durch Gusseisenthüren geschlossen sind. Das Ofenfutter besteht von den Formen aufwärts bis ungefähr 1 m unterhalb der Einschüttöffnungen aus basischen Ziegeln, in dem übrigen Theile aus Schamottziegeln. Statt der basischen Ziegeln ist auch für diesen Zweck mitunter Chromeisenerz mit gutem Erfolge verwendet worden. Als Brennstoff dienen Koks, welche in abwechselnden Lagen mit dem zu brennenden Dolomit in die Gicht eingeschüttet werden. Beim Anheizen wird der Ofen bis etwa zur Hälfte seiner Höhe mit Koks gefüllt; dann kommt eine Dolomitschicht, wiederum Koks u. s. f. Wenn die Oberfläche der Beschickungssäule sinkt, wird frisch nachgefüllt. Auf 250 bis 300 kg Koks setzt man etwa 550 kg Dolomit; 1000 kg fertig gebrannter Dolomit erheischen 1200 bis 1300 kg Koks. Die Windpressung beträgt etwa 80 mm Wassersäule, die tägliche Leistung des Ofens ungefähr 400 kg gebrannter Dolomit.

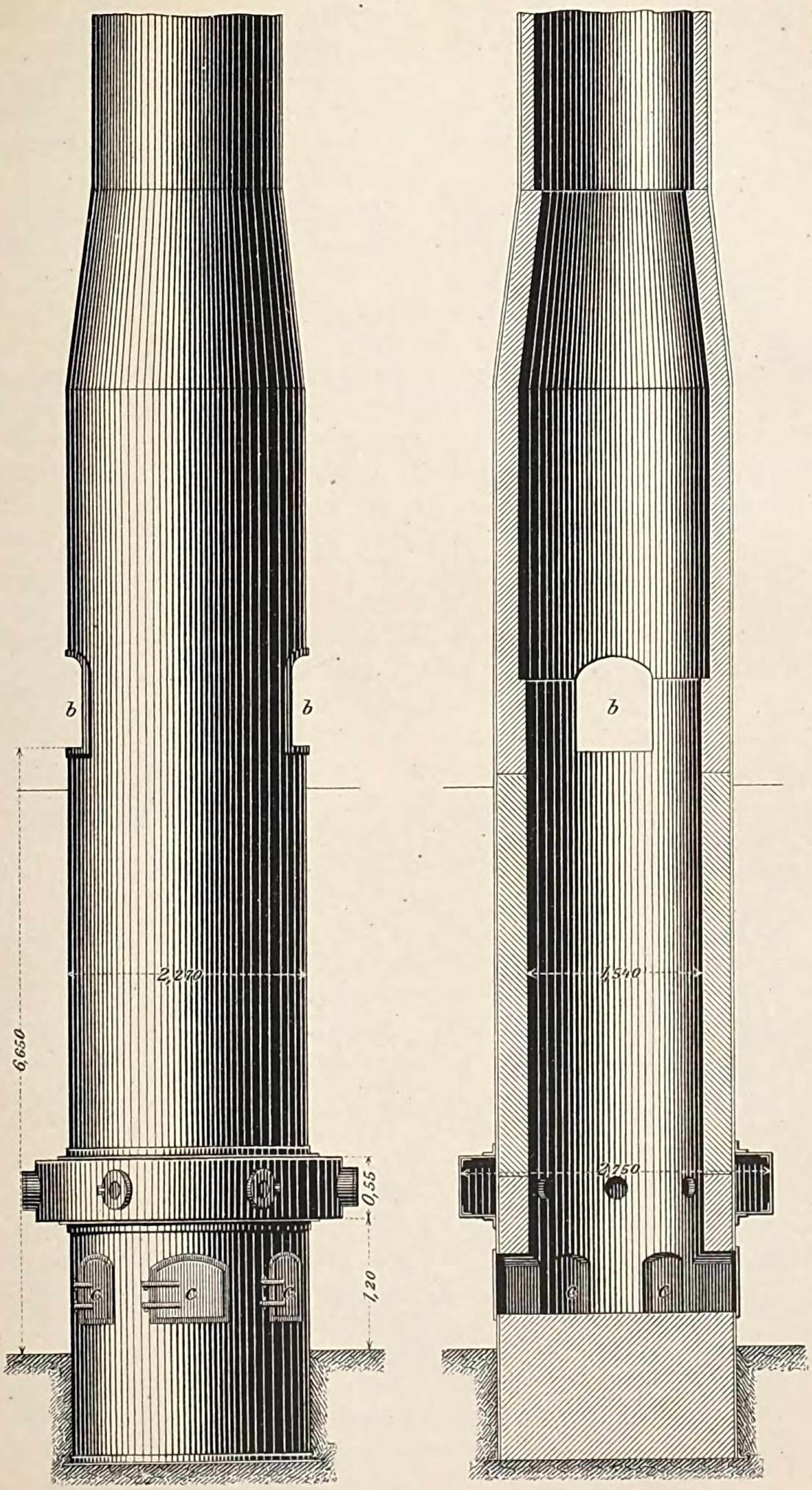
Wenn die Esse des Ofens ausreichend hoch, die Höhe des Ofens selbst dagegen nicht allzu beträchtlich ist, genügt auch natürlicher Luftzug, eine ausreichend lebhafte Verbrennung hervorzubringen. Die Windformen kommen alsdann in Wegfall, und der Boden des Ofens besteht aus einem Roste, durch welchen die Verbrennungsluft zutritt.

Nach dem Brennen wird der Dolomit, welcher jetzt ungefähr 55 v. H. Kalkerde, 35 v. H. Magnesia, 5 v. H. Kieselsäure, übrigens Eisenoxyd, Thonerde, Spuren von Mangan und anderen Körpern zu enthalten pflegt,[1]) in einem Kollergange oder einer sonstigen Vorrichtung gemahlen, wenn nöthig, gesiebt und dann mit Theer gemischt, welchen man durch Kochen seines Wassergehalts beraubt hatte. Die Menge des zugesetzten Theers beträgt 3 bis 8 Gewichtstheile auf 100 Theile Dolomit, abweichend nach der Beschaffenheit des Theers und der besonderen in's Auge gefassten Verwendung der Masse. Die Mischung wird entweder durch Handarbeit mit Schaufeln, häufiger durch eine Mischmaschine bewirkt. Durch den Theerzusatz wird das Dolomitpulver bildsam. Man verwendet nun das Gemisch entweder als Stampfmasse, welche, wie die aus Schamott und feuerfestem Thone bereitete Masse, ohne Weiteres zum Auskleiden der Oefen oder sonstigen Vorrichtungen

1) Z. B. Analyse eines Duisburger gebrannten Dolomits: $CaO = 55{,}27$ v. H., $MgO = 35{,}12$ v. H., $SiO_2 = 5{,}58$ v. H., $Al_2O_3 = 1{,}34$ v. H., $Fe_2O_3 = 2{,}84$ v. H. („Stahl und Eisen“ 1882, Seite 120).

Dolomitbrennofen

Fig. 51. Fig. 52.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

vermittelst Einstampfens verarbeitet wird, oder man formt Ziegeln daraus, mit welchen die Oefen ausgemauert werden. Vor der Benutzung müssen durch Brennen die flüchtigen Bestandtheile des Theers ausgetrieben werden, wobei Kohle als ein die Dolomittheilchen verbindender Kitt zurückbleibt. Grössere Ofentheile, welche selbständig gefertigt und dann erst in den Ofen eingesetzt werden (z. B. Böden der Thomasbirnen), brennt man in einfach eingerichteten Oefen. Als Beispiel kann der in Fig. 53 und 54 im Querschnitte und Grundrisse dargestellte Ofen dienen (Maassstab ungefähr $^1/_{100}$ der wirklichen Grösse). An den beiden Stirnseiten wird der Ofen während des

Fig. 54.

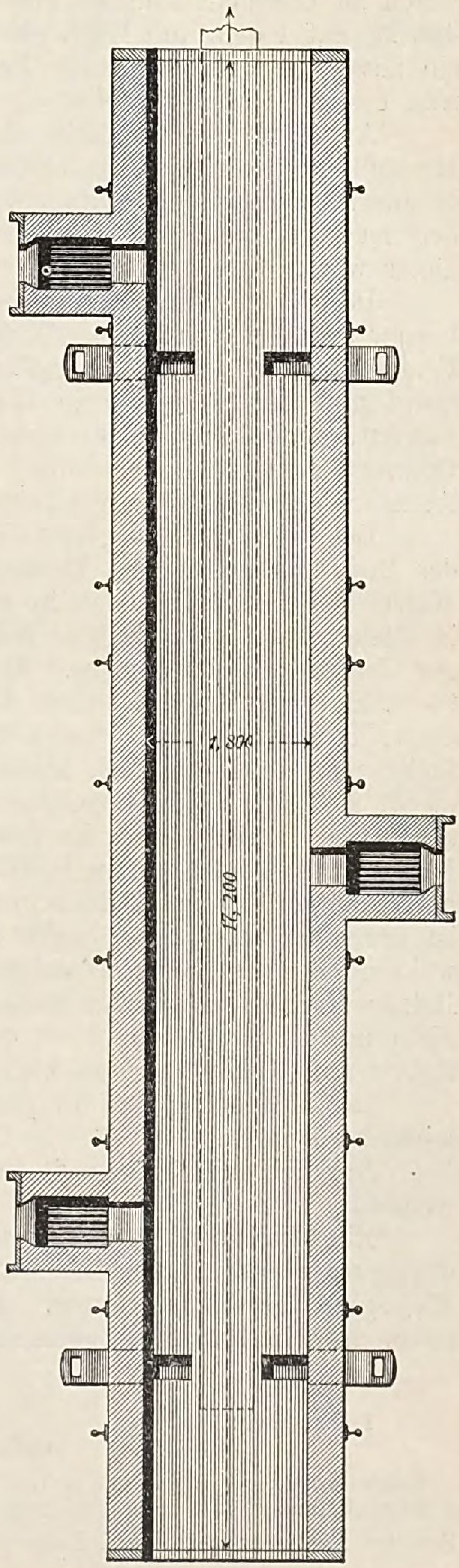
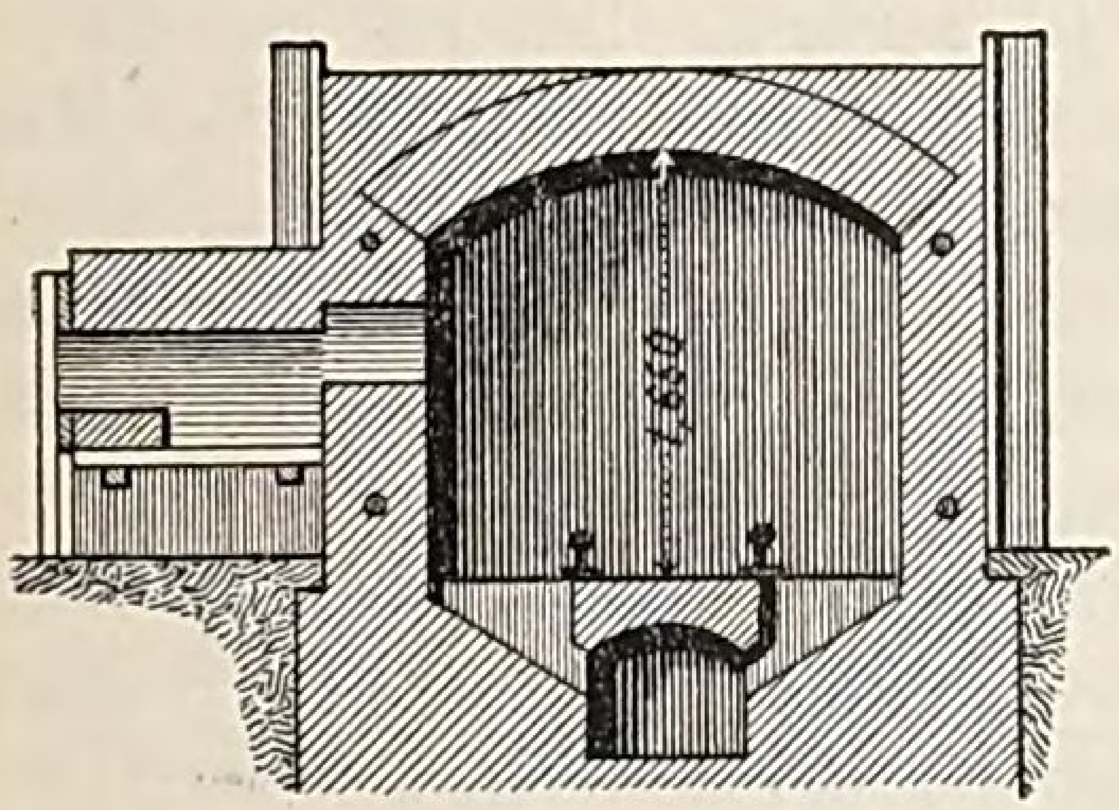


Fig. 53.



Brennens durch eiserne, in Angeln sich drehende Thüren geschlossen; ein durch den ganzen Ofen hindurchgehendes Schienengleis dient zum Ein- und Ausbringen der mit ihren Formen auf eiserne Wagen gestellten, zu brennenden Gegenstände. Drei an den Längsseiten befindliche Rostfeuerungen dienen zum Heizen des Ofens; die Verbrennungsgase entweichen durch vier im Boden angebrachte, durch Schieber von aussen ganz oder zum Theil verschliessbare Oeffnungen in einen gemeinschaftlichen, unter der Sohle des Ofens sich erstreckenden Essenkanal. Die Zeitdauer des Brennens schwankt nach Maassgabe des Gewichts der Gegenstände zwischen 12 Stunden bis mehreren Tagen. Anfänglich er-

weichen die eingebrachten Gegenstände, da der Theer bei der Erhitzung flüssig wird, später werden sie steinhart.

Ziegeln kleinerer Abmessungen pflegt man nicht in besonderen Oefen zu brennen, sondern man formt sie unter starkem Drucke (etwa 400 kg auf 1 qcm) mit Hülfe einer Wasserdruckpresse, mauert sie, ohne sie zuvor zu brennen, ihrer Bestimmung gemäss ein und erhitzt sie nun erst an Ort und Stelle.

An Stelle des Dolomits findet **Magnesit** häufige Benutzung für Herstellung feuerfester Baustoffe, und der Ersatz des Dolomits durch Magnesit würde noch umfänglicher sein, wenn nicht das Vorkommen des letzteren weit beschränkter und deshalb der Preis entsprechend höher wäre.

Der Vorzug des gebrannten Magnesits im Vergleich zu Dolomit beruht auf seiner grösseren Widerstandsfähigkeit sowohl gegenüber der Feuchtigkeit in gewöhnlicher Temperatur als dem Angriffe der Kieselsäure und der Schlacken in Weissgluth. Er lässt sich länger aufbewahren, ohne Einbusse an seiner Brauchbarkeit zu erleiden, und das Ofenmauerwerk (das Ofenfutter) ist, zumal der Einwirkung jener auflösend wirkenden Körper gegenüber, haltbarer.

Das wichtigste Magnesitvorkommen, welches den grössten Theil des Bedarfs Oesterreichs, Deutschlands und anderer Länder an diesem Materiale deckt, findet sich in mächtigen Ablagerungen im Veitschthale in Steiermark; auch Euböa liefert in neuerer Zeit grössere Mengen gut brauchbaren Magnesits. Der steirische Magnesit enthält 90 bis 96 v. H. Magnesiumcarbonat, kleine Mengen Calciumcarbonat, 3 bis 4,5 v. H. Eisenoxydul, etwa 1 v. H. Kieselsäure; nach dem Brennen findet man etwa 85 v. H. Magnesia, 2 v. H. Kalkerde, 8 v. H. Eisenoxyd, 2,5 v. H. Kieselsäure, daneben Spuren von Manganoxyd, Kohlensäure u. a.[1]) Der Gehalt an fremden Körpern erreicht hier eben jenes Maass, dass beim Brennen in Weissgluth das für die spätere Benutzung nothwendige Fritten (Todtbrennen) eintritt. Der Magnesit von Euböa ist ärmer an Eisen; er bleibt auch nach dem Brennen hell gefärbt, während der eisenreichere steirische Magnesit schwarze Farbe annimmt. Reines Magnesiumcarbonat frittet auch in den höchsten Temperaturen nicht und bleibt deshalb nach dem Brennen den Einflüssen der Feuchtigkeit und Kohlensäure leichter zugänglich.

Das Brennen pflegt in gleichen Oefen wie das des Dolomits bewirkt zu werden.

Der gebrannte Magnesit findet nun in verschiedener Weise Verwendung.

Ein Theil wird gemahlen und unter starkem, durch eine Wasserdruckpresse ausgeübtem Drucke zu Ziegeln geformt, welche in hellster Weissgluth gebrannt werden. Man benutzt hierfür Magnesit, welcher zuvor nur in Rothgluth gebrannt und auch nicht gesintert war; oder

1) Beispiele:

	MgO	CaO	MnO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CO_2
Roher Magnesit . .	42,43	1,68	0,53	3,53	0,03	0,92	50,41
Todtgebrannter . .	84,26	2,25	0,72	8,40	—	2,50	0,50

Sonstige Analysen: „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 622; 1890, Seite 222.

man setzt auch wohl kleine Mengen irgend eines Bindemittels zu. Die Anfertigung dieser Steine pflegt auf der Gewinnungsstätte des Magnesits vorgenommen zu werden, da sie widerstandsfähig genug sind, um Versendung auf weite Entfernungen zu vertragen.

Ein anderer Theil wird zu Stampfmasse verarbeitet. Man kann hierbei wie bei der Bereitung der Dolomit-Stampfmasse verfahren, d. h. den feingemahlenen und gesiebten Magnesit mit Theer mengen. Mitunter benutzt man statt des Theers, welcher ziemlich kostspielig ist und beim Erhitzen lästige Dämpfe entwickelt, Dolomitmilch, aus gebranntem (jedoch nicht todtgebranntem) und mit Wasser gelöschtem Dolomit bereitet,[1]) oder Magnesitmilch, in gleicher Weise hergestellt, oder man sieht überhaupt von der Anwendung von Zusätzen ganz ab. Da der todtgebrannte Magnesit mit Wasser in Berührung gebracht werden kann, ohne seine Eigenschaften zu ändern, ist man bei der Auswahl der Zusätze weniger beschränkt als bei Benutzung von Dolomit.

In Rücksicht auf das, wie schon erwähnt, ziemlich seltene Vorkommen benutzbarer Magnesitlager hat man mehrfach vorgeschlagen, die an und für sich ziemlich werthlosen Chlormagnesiumlaugen der Chlorkaliumfabriken auf Magnesia zu verarbeiten und diese für die Darstellung feuerfester Steine zu benutzen, ohne dass jedoch die für diesen Zweck versuchsweise angewendeten Verfahren dauernde Anwendung gefunden haben.[2]) Die in dieser Weise gewonnene, fast reine Magnesia sintert in Weissgluth schwieriger als der natürlich vorkommende Magnesit zu einer festen Masse zusammen; vermuthlich sind auch die Herstellungskosten dieser Erzeugnisse höher gewesen als bei Benutzung von Magnesit.

Wo ein an Kieselsäure ausreichend armer, am besten etwas magnesiahaltiger **Kalkstein** zur Verfügung steht, Dolomit und Magnesit dagegen schwer zu erlangen sind, verwendet man auch jenen bisweilen zur Herstellung basischen Ofenbaumaterials. Das Verfahren dabei ist ähnlich wie bei der Verarbeitung von Dolomit. Auf einigen Werken (Kladno in Böhmen, Pottstown in Pennsylvanien) mahlt man den rohen Kalkstein, vermischt ihn mit einer kleinen Menge basischer Schlacke (Thomasschlacke, in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochen) als Bindemittel, und formt Ziegeln daraus, die in ähnlichen Oefen, wie oben abgebildet, gebrannt werden, um dann erst zerkleinert und nach dem Vermischen mit Theer wie gebrannter Dolomit weiter verarbeitet zu werden. Man beabsichtigt durch dieses umständlichere Verfahren, ein gleichmässiger zusammengesetztes Gemisch zu erhalten als durch Brennen des rohen Kalksteins in Stücken.[3]) Gebrannter Kalk und die daraus gewonnenen Erzeugnisse aber sind gegen Feuchtigkeit weniger widerstandsfähig als Dolomit; ausserdem ist das Vorkommen eines für diesen Zweck gut geeigneten Kalksteins im Ganzen weniger häufig als das Vorkommen brauchbaren Dolomits. Aus diesen Gründen ist die Anwendung des Kalksteins für diesen Zweck ziemlich selten geblieben.

1) „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 225.

2) Ebenda 1881, Seite 99.

3) Einiges Nähere hierüber: Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 21 (1893), p. 745.

D. Kohlenstoffziegeln.

Die völlige Unschmelzbarkeit des Kohlenstoffs und seine Unauflöslichkeit durch Schlacken hat schon früher vereinzelt Veranlassung gegeben, Kohle in Form von Koks oder Graphit im gemahlenen Zustande mit einem Bindemittel (Thonwasser, Theer) zu mischen und Steine daraus zu formen. In Frankreich benutzte man um 1869 ein Gemisch von gemahlenem Koks mit Theer,[1]) später Graphit aus Gasretorten in Vermischung mit Theer zur Darstellung von Steinen für Oefen mit hoher Temperatur;[2]) eine öftere Verwendung haben solche Kohlenstoffsteine seit 1890 beim Hochofenbau gefunden, nachdem durch Burgers das Verfahren der Herstellung vervollkommnet worden war.[3])

Man benutzt hierfür aschenarme, getrocknete Koks, welche gemahlen, mit etwa einem Fünftel ihres Gewichts Theer gemischt und in Formen gestampft werden. Die erfolgenden Ziegeln werden zunächst zwei Wochen lang in gelinder Wärme getrocknet, dann in Muffeln bei Luftabschluss gebrannt.

Der Preis der Kohlenstoffsteine ist dem Gewicht nach ungefähr doppelt so hoch als der von Schamottsteinen; durch den Umstand indess, dass das Gewicht der Kohlenstoffsteine nur ungefähr $^{11}/_{20}$ des Gewichts von Schamottsteinen gleicher Grösse beträgt, wird jener Unterschied zum Theil ausgeglichen.

Die Kohlenstoffsteine haben sich in zahlreichen Fällen gut bewährt. Nicht brauchbar sind sie, wo sie der Einwirkung eines hocherhitzten, oxydirend wirkenden Gasstroms ausgesetzt sein würden; oder wo eisenreiche Schlacken mit ihnen in länger fortgesetzte Berührung treten, deren Eisenoxydulgehalt, indem er zu Eisen reducirt wird, den Kohlenstoff verbrennen würde; oder auch, wo flüssiges, kohlenstoffarmes Eisen anhaltend auf sie einwirken kann und sie zerstört, indem es selbst Kohlenstoff auflöst. Deshalb sind sie auch beim Hochofenbau nur für die Herstellung einzelner Theile des Hochofens benutzbar, welche jenen Einflüssen nicht unterworfen sind. (Rast des Hochofens; Näheres in der 2. Abtheilung.)

E. Die feuerfesten Mörtel.

In den Fällen, wo man die feuerfesten Baustoffe nicht als Stampfmasse verwendet, sondern wo man Ziegeln daraus fertigt, welche zu Mauerwerk zusammengefügt werden, ist ein Mörtel erforderlich, um die Fugen zwischen den einzelnen Steinen zu schliessen.

Dieser Mörtel muss an sich feuerfest genug sein, um nicht in der Temperatur, welcher die Steine ausgesetzt werden, zu zerfliessen und aus den Fugen auszulaufen; wünschenswerth dagegen ist es, dass er mit den Steinen zusammenfritte, weil ein wirklicher Verband nur auf diese Weise entstehen kann.

Von vornherein muss bei dem Aufbau solcher Mauerungen Sorge getragen werden, dass die Fugen eng sind und die benachbarten Steine

1) A. Ledebur, Metallurgie du fer, traduit par B. de Langlade, annoté par F. Valton, vol. 1, p. 190.

2) „Stahl und Eisen" 1885, Seite 478.

3) Burgers' Vortrag hierüber: „Stahl und Eisen" 1890, Seite 112.

gut an einander schliessen. Das Verfahren ist demnach wesentlich anders als bei gewöhnlichen Maurerarbeiten, bei welchen man jeden einzelnen Stein in eine dicke Mörtellage einzubetten pflegt. Die Steine werden gut zusammengepasst, häufig erhöht man durch Schleifen an einander die Genauigkeit des Zusammenpassens. Der in dieser Weise vorgerichtete Stein wird an den zu verbindenden Flächen mit einer nur ganz dünnen Mörtelschicht überzogen und an Ort und Stelle durch Reiben an den benachbarten, bereits eingesetzten Steinen in genauen Anschluss mit diesen gebracht.

Zur Bereitung des feuerfesten Mörtels benutzt man gewöhnlich den gleichen Stoff, aus welchem die Steine bestehen, und giebt ihm einen Zusatz, durch welchen er sinterungsfähig wird. Schleift man z. B. Sandsteine, Dinassteine, Schamottsteine, so lässt sich der hierbei entstehende Schleifstaub zur Mörtelbereitung verwenden, indem man ihn mit etwas feuerfestem Thon vermengt, oder man benutzt von vornherein ein Gemisch von Schamott, für diesen Zweck besonders dargestellt, mit feuerfestem Thon und Wasser.

Lürmann empfiehlt zum Vermauern nichtbasischer Ziegeln, um das Zusammenfritten beim Erhitzen zu erleichtern, ein Gemenge aus Sand, Kalk und Cement, auch wohl Hochofenschlacke, Glas, Schamott und ähnlichen Körpern, welches im feingepulverten Zustande mit so viel Wasser versetzt wird, als erforderlich ist, um die Anwendung ganz dünner Fugen zu ermöglichen.[1])

Basische Ziegeln pflegt man mit Theermörtel zu vermauern, aus einem Gemische von Theer mit gebranntem Dolomit oder Magnesit bestehend und vor der Benutzung erwärmt. Magnesitmörtel besteht häufig auch nur aus gebranntem, gemahlenem und gesiebtem Magnesit mit Wasser oder Dolomitmilch, oder aus trocknem Magnesitmehl allein, welches in die Fugen gebracht wird. Zum Vermauern von Chromeisenerz oder der daraus gefertigten Ziegeln verwendet man ein Gemisch desselben feingemahlenen Erzes mit etwas gebranntem Kalk oder Magnesia.

Kohlenstoffziegeln werden mit einem Mörtel aus 4 Theilen Kokspulver mit 1 Theil Thon und etwas Wasser vermauert.

Litteratur.

a) Ueber Oefen.

Einzelne Werke.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie. Deutsch von F. Kupelwieser. Paris 1877. S. 224—495.

H. Jüptner von Jonsdorff, Die Untersuchung der Feuerungsanlagen. Wien 1891.

A. Ledebur, Die Oefen für metallurgische Zwecke. Freiberg 1876.

Dr. Häussermann, Industrielle Feuerungsanlagen. Stuttgart 1897.

Friedrich Toldt, Regenerativ-Gasöfen. Leipzig 1898.

Abhandlungen.

F. Bleichröder, Ueber Kohlenstaubfeuerungen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1896, S. 237.

1) „Stahl und Eisen" 1882, Seite 433.

P. Havrez, Fours et fourneaux comparés au point de vue de l'économie, du combustible, de la main-d'oeuvre, des frais d'installation et d'entretien. Revue universelle, tome 11, p. 383.

C. Schinz, Ueber den Nutzeffekt und die Konstruktion von Oefen für metallurgische und technische Zwecke. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 159, S. 200.

L. Gruner, De l'utilisation de la chaleur dans les fourneaux des usines métallurgiques. Annales des mines, série 7, tome 8, p. 175.

E. F. Dürre, Ueber die Ausnutzung der Wärme in den Oefen der Hüttenwerke. Dinglers polyt. Journal, Bd. 220, S. 247.

E. Zetzsche, Beitrag zur Geschichte der Regeneratoren. Polyt. Centralblatt 1872, S. 1441.

Hennecort, Ueber den Siemensschen Gasregenerativofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1871, S. 403; Dinglers polyt. Journal, Bd. 202, S. 417.

R. Åkerman, Ueber Regenerativ-Puddelöfen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1874, S. 353.

W. Schmidhammer, Studie über Gas- und Luftzuführungen bei Martinöfen. „Stahl und Eisen“ 1894, S. 751.

W. Schmidhammer, Vorrichtungen zur Zugumschaltung. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 268.

F. Siemens, Ueber ein neues Verbrennungs- und Heizungssystem. Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. 16, S. 126.

F. Lürmann, Das Siemenssche neue Heizverfahren mit freier Flammenentfaltung. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 238.

F. W. Dick, Ueber einen neuen Regenerativofen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 715 (aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1884, p. 453).

G. Westmann, Das Siemenssche neue Heizverfahren. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1886, S. 205.

Ein neuer Siemensofen. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 616.

Hempel, Der neue Siemensofen mit Regenerirung der Abhitze und Abgase. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1891, S. 77.

Schöffel, Ueber den neuen Siemensofen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 212.

Neuer Siemensofen mit Benutzung der Verbrennungserzeugnisse. Berg- und hüttenm. Ztg. 1892, S. 70.

Fr. C. G. Müller, Ueber Feuerungen mit theilweiser Regenerirung der Verbrennungsprodukte. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 969.

Regenerativofen von Pütsch. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1883, S. 290.

J. v. Ehrenwerth, Regenerativ-Flammöfen für periodischen Betrieb. „Stahl und Eisen“ 1888, S. 528.

J. v. Ehrenwerth, Direkte Gasfeuerung mit in Regeneratoren erhitzter Luft. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 339.

L. Gruner, Four Boëtius. Annales des mines, série 6, tome 16, p. 201; Dinglers polyt. Journal, Bd. 197, S. 498.

M. J. Macar, Note sur l'application du système Boëtius au puddlage. Revue universelle 1877, tome 1, p. 202; auszugsweise in Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 255.

M. L. Taskin, Notice sur le four à gaz du système Bicheroux. Revue universelle, tome 36, p. 138; Dinglers polyt. Journal, Bd. 219, S. 220.

M. A. Raze, Note sur l'application du système Bicheroux aux fours à puddler. Revue universelle 1877, tome 1, p. 196.

R. Smith-Casson, Gas puddling and heating furnaces with special reference to the Casson-Bicheroux system. The Journal of the Iron and Steel Institute 1884, p. 60.

M. Perissé, Note sur le four à gaz avec récupérateur de chaleur, système Ponsard. Revue universelle, tome 39, p. 131.

Ponsards Gasofen. Dinglers polyt. Journal, Bd. 219, S. 125.

The Ponsard furnace. Iron, vol. 12, p. 342 (mit schöner Abbildung des Recuperators).

A. Holley, The Pernot furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 7, p. 241; daraus Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, S. 105.

b) Ueber feuerfeste Baustoffe.

Einzelne Werke.

Carl Bischof, Die feuerfesten Thone mit Berücksichtigung der feuerfesten Materialien überhaupt. Zweite Auflage. Leipzig 1895.

Bruno Kerl, Abriss der Thonwaarenindustrie. Braunschweig 1879.

Abhandlungen.

T. Egleston, Refractory Materials. Engineering and Mining Journal, vol. 22, p. 103; Iron, vol. 8, p. 297.

R. Scheidhauer, Die Eigenschaften feuerfester Materialien und deren Verwendung in der metallurgischen Industrie. Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1885, S. 821.

Quaglio, Feuerfeste Materialien. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1886, S. 62.

P. Tunner, Ueber Quarzziegel, ihre Erzeugung und Anwendung. Berg- und hüttenm. Jahrbuch der k. k. Bergakademien zu Leoben und Příbram, Bd. 15 (1866), S. 132.

J. Khern, Erfahrungen über die Fabrikation von feuerfesten Quarzziegeln. Berg- und hüttenm. Jahrbuch der k. k. Bergakademien zu Leoben und Příbram, Bd. 15 (1866), S. 156.

C. Bischof, Verfahren zur pyrometrischen Werthbestimmung kieselreicher Materialien. Dinglers polyt. Journal, Bd. 196, S. 525.

H. Seger und E. Cramer, Dinassteine. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 1084.

C. Bischof, Praktische Versuche zur Bestimmung der Güte feuerfester Thone. Dinglers polyt. Journal, Bd. 159, S. 54.

C. Bischof, Die Feuerbeständigkeit der Thone nach den Resultaten synthetischer Versuche, analytischer Untersuchungen und der Erfahrungen in technischer wie mineralogischer Beziehung. Dinglers polyt. Journal, Bd. 170, S. 43.

C. Bischof, Versuch einer empirischen in Procenten ausgedrückten Werthstellung der feuerfesten Thone. Dinglers polyt. Journal, Bd. 194, S. 420.

C. Bischof, Analyse der Normalthone, welche zur Werthstellung der feuerfesten Thone dienen. Dinglers polyt. Journal, Bd. 196, S. 431.

C. Bischof, Nachtrag, meinen Versuch einer Werthstellung der feuerfesten Thone betreffend. Dinglers polyt. Journal, Bd. 198, S. 407.

E. Richters, Ueber die Feuerbeständigkeit der Thone. Dinglers polyt. Journal, Bd. 191, S. 59.

E. Richters, Die Feuerbeständigkeit der Thone betreffend; einige Bemerkungen zu den neuesten Aufsätzen Dr. Bischofs über denselben Gegenstand. Dinglers polyt. Journal, Bd. 197, S. 268.

E. Cramer, Wirkung der Flussmittel in Thonen. Bericht der 15. Generalversammlung des Vereins der Fabriken feuerfester Produkte (1895), S. 31; Bericht der 17. Generalversammlung desselben Vereins (1897), S. 25.

A. Wasum, Das Verhalten der erdbasischen feuerfesten Materialien gegen die in der Praxis des Hüttenbetriebes vorkommenden Einflüsse. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1884, S. 104; auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1884, S. 216.

T. Egleston, Basic refractory materials. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 14, p. 455.

Zyromski, Dolomit und Magnesia. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 622.

K. Sorge, Ueber Magnesit und seine Verwendung als basisches feuerfestes Material. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 850.

N. Kjellberg, Magnesit im basischen Martinofen. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 222.

C. Bischof, Ueber Magnesiaziegeln. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1893, S. 27.

Dr. Leo, Veithscher Magnesit. Dinglers polyt. Journal, Bd. 304, S. 278.

Dr. Leo, Mittheilungen über basisches Material zur Ausfütterung von Oefen. Dinglers polyt. Journal, Bd. 304, S. 279.

Th. Jung, Die Verwendung von Kohlenstoffsteinen im Hochofenbetriebe. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, S. 1099.

J. Kail, Ueber die praktische Anwendung von Kohlenstoffziegeln. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 691.

V. Die Schlacken der Eisendarstellung.

1. Begriff und Zusammensetzung.

Schlacken nennt man die beim Schmelzen oder beim Glühen von Metallen erfolgenden, ihrer chemischen Zusammensetzung nach grösstentheils aus Sauerstoffverbindungen bestehenden Nebenerzeugnisse, welche in der Temperatur des erhitzten Metalls flüssig, in gewöhnlicher Temperatur fest sind.[1])

Alle bei der Darstellung und Verarbeitung des Eisens gewonnenen Schlacken enthalten Eisen als Oxydul oder Oxyduloxyd; seine Menge ist jedoch nach der Art des Verfahrens — ob Reduction oder Oxydation stattfand — sehr verschieden und schwankt von 0,1 bis 70 v. H. des Schlackengewichts. Einige Eisenschlacken bestehen in Wirklichkeit aus fast reinem Eisenoxyduloxyd.[2])

1) Aehnliche Neben- oder Zwischenerzeugnisse, die jedoch in der Eisendarstellung keine Rolle spielen, sind Steine und Speisen. Erstere bestehen ihrer Zusammensetzung nach grösstentheils aus Schwefelmetallen, letztere aus Arsen- und Antimonmetallen.

2) Kieselsäurereiche Schlacken können nur Eisenoxydul (Fe O) enthalten, welches eine kräftigere Base ist als Eisenoxyd (Fe_2O_3); je stärker basisch die Schlacke ist, desto grössere Mengen Eisenoxyd können neben Eisenoxydul vorkommen. Mitunter

Neben den Oxyden des Eisens finden sich in den Eisenhüttenschlacken naturgemäss die Oxyde solcher Körper, welche bei Reductionsverfahren schwieriger reducirbar, bei Oxydationsverfahren leichter oxydirbar als das Eisen sind. Hierher gehören Kieselsäure, Alkalien (selten in grösseren Mengen als 3 v. H.), alkalische Erden (unter denen besonders Kalkerde und Magnesia in oft beträchtlichen Mengen in den Schlacken auftreten), Thonerde, mitunter Titansäure, Manganoxydul, unter bestimmten Verhältnissen auch Phosphorsäure in bisweilen ansehnlicher Menge. Ausserdem bildet Schwefel in kleinen Mengen (bis zu etwa 3 v. H.) einen selten fehlenden Bestandtheil bestimmter Schlacken, und zwar vorwiegend im nichtoxydirten Zustande, d. h. in Vereinigung mit Metallen (Calcium, Mangan) zu Sulfiden. Sulfate werden in hoher Temperatur unter Verflüchtigung der Schwefelsäure zerlegt und können aus diesem Grunde in Schlacken, welche längere Zeit in hoher Temperatur flüssig erhalten wurden, nicht bestehen. Gelangte die Schlacke aber zum Erstarren, nachdem sie erst kurz zuvor Gelegenheit zur Aufnahme von Sulfaten gefunden hatte, so kann sie allerdings noch kleinere Mengen von Schwefelsäure enthalten; werden basische, zumal kalkreiche, Schlacken erst untersucht, nachdem sie längere Zeit der Einwirkung der Luft preisgegeben waren, so findet man nicht selten Schwefelsäure, welche erst durch Zersetzung von Sulfiden unter jener Einwirkung entstanden war. Diese allmähliche Umwandlung von Sulfiden in Sulfate wird besonders deutlich erkennbar, wenn man dieselbe Schlacke wiederholt nach längeren Zeitabschnitten, z. B. nach Jahresfrist, untersucht. Ohne dass der Gesammtschwefelgehalt sich zu ändern braucht, wird der Gehalt an Schwefelsäure stetig grösser. Bei Einwirkung feuchter Luft auf kalkreiche schwefelhaltige Schlacken findet mitunter auch eine Entwickelung von Schwefelwasserstoff statt, welche durch den Geruch deutlich wahrnehmbar ist, und selbst freier Schwefel kann ausgeschieden werden. Man pflegt diesen Vorgang folgendermaassen zu erklären.

Zunächst entsteht unter gleichzeitiger Einwirkung des Feuchtigkeits- und Kohlensäuregehalts der Luft Calciumcarbonat neben Schwefelwasserstoff:

$$CaS + H_2O + CO_2 = CaCO_3 + H_2S,$$

ausserdem Calciumcarbonat neben unterschwefligsaurem Calcium:

$$2\,CaS + 4\,O + CO_2 = CaCO_3 + CaS_2O_3;$$

das gebildete unterschwefligsaure Calcium verwandelt sich unter Aufnahme von Sauerstoff in schwefelsaures Calcium (Calciumsulfat) und freien Schwefel:

$$CaS_2O_3 + O = CaSO_4 + S.$$

Jedoch auch in Drusenräumen schwefelreicher Schlacken findet man mitunter reichliche Mengen ausgeschiedenen Schwefels, bald nachdem die Erkaltung stattgefunden hat, woraus sich schliessen lässt, dass hier schon während der Abkühlung Umsetzungen stattfanden, welche

wird das bei der chemischen Untersuchung der erkalteten Schlacke gefundene Eisenoxyd erst bei der Abkühlung unter Luftzutritt entstanden sein, während die flüssige Schlacke nur Eisenoxydul enthielt. Unter der Benennung Eisenoxyduloxyd ist jede Verbindung verstanden, welche sowohl Eisenoxydul als Eisenoxyd enthält; das gegenseitige Gewichtsverhältniss beider Oxydationsstufen ist verschieden.

die Schwefelausscheidung veranlassten. Eine von mir untersuchte Hochofenschlacke von Zeltweg, welche

SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO	MnO	CaO	CaS
30,13	13,21	7,78	0,26	2,44	34,99	8,08,

also 3,59 v. H. gebundenen Schwefel enthielt, war ausserdem reichlich bedeckt mit Schwefelkrystallen. Eine zuverlässige Erklärung der Vorgänge, welche in solchen Fällen die Schwefelausscheidung veranlassten, ist bislang noch nicht gegeben.

Alle Bestandtheile der Schlacken treten in sehr verschiedenen gegenseitigen Gewichtsverhältnissen und ohne jede Rücksicht auf stöchiometrische Verhältnisszahlen neben einander auf. Hieraus folgt zunächst, dass eine Schlacke nicht aus einer einzigen engeren chemischen Verbindung zu bestehen braucht, sondern als eine nur in hoher Temperatur flüssig werdende Lösung verschiedener chemischer Verbindungen in einander zu betrachten ist. Dass diese Verbindungen der Hauptsache nach Sauerstoffverbindungen der Metalle und Metalloide seien, wurde schon erwähnt.

Diese Theorie hat nichts Auffälliges, wenn man erwägt, dass zahlreiche andere Körper ein gleiches Verhalten zeigen. Wasser vermag verschiedenartige Körper zu lösen und mit ihnen zu erstarren, ohne dass eine chemische Verbindung nach stöchiometrischen Verhältnissen dabei zu entstehen braucht; Borax und Phosphorsalz dienen im geschmolzenen Zustande als vortreffliche Lösungsmittel für Oxyde der mannigfachsten Art und erstarren mit ihnen zu gleichmässig zusammengesetzten „Gläsern“, gleichviel, wie gross das gegenseitige Gewichtsverhältniss ist. Es liegt kein Grund vor, anzunehmen, dass, wenn Kieselsäure oder Phosphorsäure mit Kalkerde, Magnesia, Eisenoxydul oder anderen Körpern in hoher Temperatur sich vereinigen, hier nicht eine einfache Lösung der Körper in einander möglich sei, sondern durchaus engere chemische Verbindungen sich bilden müssen.

Auch die Krystallisation vieler Schlacken ist keineswegs, wie man häufig annimmt, ein Merkmal, dass hier durchaus eine engere chemische Verbindung vorhanden sein müsse. Lässt man eine in gewöhnlicher Temperatur flüssige Lösung gefrieren, so zeigt auch diese nicht selten die Neigung zu krystallisiren; Legirungen, d. h. Lösungen der Metalle in einander, krystallisiren häufig in schön ausgebildeten Formen, ohne dass ihr gegenseitiges Gewichtsverhältniss den Atomgewichten zu entsprechen braucht.

Wie die Eigenschaften der in gewöhnlicher Temperatur flüssigen Lösungen entsprechen diejenigen der Schlacken: Dichtigkeit, Schmelztemperatur, Farbe u. a. m., keineswegs immer dem Mittel aus den Eigenschaften ihrer Bestandtheile. Insbesondere pflegt die Schmelz- und Erstarrungstemperatur tiefer zu liegen als die Berechnung aus der Schmelztemperatur der Einzelbestandtheile ergeben würde, gewöhnlich sogar niedriger, als die Schmelztemperaturen jedes einzelnen der in einander gelösten Körper.[1])

1) Ein naheliegendes Beispiel des gleichen Verhaltens gewöhnlicher Lösungen geben uns die Lösungen von Kochsalz in Wasser. Kochsalz schmilzt und erstarrt bei etwa 600° C., Wasser bei Null Grad, Kochsalzlösung aber in Temperaturen unter Null Grad.

Dass jedoch innerhalb einer Lösung und demnach auch innerhalb einer Schlacke engere chemische Verbindungen entstehen können, ist nicht zweifelhaft. Deutlich erkennbar treten uns freilich diese Verbindungen erst bei oder nach dem Erstarren entgegen; ob sie schon in der flüssigen Lösung vorhanden waren, ob sie erst beim Erstarren entstanden, wissen wir nicht. Der Umstand, dass die Abkühlungsverhältnisse häufig beeinflussend auf die Entstehung und Zusammensetzung dieser Verbindungen einwirken, lässt darauf schliessen, dass erst beim Erstarren ihre Bildung stattfand. In erstarrten Schlacken hat man bisweilen solche chemischen Verbindungen nachgewiesen; z. B. in der Thomasschlacke ein basisches Calciumphosphat von der Formel $4\,CaO, P_2O_5$ von brauner oder blauer Farbe, theils tafelförmig, theils säulenförmig krystallisirend.[1])

Abgesehen von dieser Ausscheidung bestimmter chemischer Verbindungen aus erstarrenden Lösungen lässt sich nicht selten ein Zerfallen einer im flüssigen Zustande gleichartigen Lösung in mehrere Lösungen von abweichender Zusammensetzung und abweichender Erstarrungstemperatur beobachten. Wenn eine verdünnte Kochsalzlösung langsam gefriert, sondert sich zunächst eine kochsalzärmere erstarrende Lösung von der vorläufig flüssig bleibenden kochsalzreichern; je weiter die Temperatur der Lösung sinkt, desto kochsalzreicher wird auch die erstarrende. Bei den Legirungen nennt man ein solches Zerfallen mit oder ohne Bildung engerer chemischer Verbindungen Saigerung; dass auch manche Schlacken zu saigern fähig sind, unterliegt keinem Zweifel. Jene erwähnte Ausscheidung eines Viertelcalciumphosphats aus der Thomasschlacke ist nichts anderes als ein Saigerungsvorgang. Nicht selten aber zeigt eine und dieselbe Schlacke an verschiedenen Stellen, je nachdem sie rascher oder langsamer erkaltete, abweichende physikalische Eigenschaften, Farbe, Glanz, Gefüge, Härte u. s. w., ohne dass eine Aussonderung bestimmter chemischer Verbindungen an der einen oder andern Stelle nachweisbar wäre. Ob auch hier eine wirkliche Saigerung stattgefunden hat, d. h. ob die in flüssigem Zustande gleichartige Lösung sich beim Erstarren in verschieden zusammengesetzte Lösungen sonderte, ist nur durch die Analyse nachweisbar. In zahlreicheren Fällen wird man finden, dass die gesammte Zusammensetzung an den verschiedenen Stellen keine wesentlichen Unterschiede aufweist, und dass demnach die Abweichungen in den Eigenschaften nur auf verschiedener Anordnung der kleinsten Theilchen unter einander beruhen. Einige Beispiele hierfür sind unten bei Besprechung der Farbe der Schlacken gegeben.

Wenn nun die Entstehung und die Zusammensetzung der Schlacken nicht durch bestimmte Atomverhältnisse der Bestandtheile bedingt ist, so bleibt die Frage zu beantworten, welche anderen Umstände für jene Zusammensetzung maassgebend sind, und die Kenntniss dieser Umstände ist nicht ohne Wichtigkeit für die Beurtheilung des Verfahrens, welchem diese oder jene Schlacke entsprungen war. Mehrere Einflüsse pflegen gleichzeitig hierbei wirksam zu sein.

1) „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 498; 1884, Seite 141.

Zunächst die Beschaffenheit und die gegenseitigen Gewichtsverhältnisse der überhaupt anwesenden, zur Schlackenbildung geeigneten Körper, zu welchen das Ofenfutter mitunter einen nicht unbeträchtlichen Theil liefert; sodann die Eigenthümlichkeiten des Verfahrens, bei welchem die Schlacke entstand, insbesondere die dabei stattfindenden Reductions- oder Oxydationswirkungen, die herrschende Temperatur, u. a. m. Mit der Zusammensetzung der erfolgenden Schlacke aber steht fast immer die Zusammensetzung des erfolgenden Metalls in naher Beziehung; die eine ist von der andern abhängig, und jede Aenderung in der Beschaffenheit des einen Erzeugnisses beeinflusst auch die Beschaffenheit des andern.

Beim Hochofenschmelzen will man zum Beispiel als Erzeugniss Roheisen gewinnen, welches mehrere Hunderttheile Kohlenstoff, daneben häufig Silicium oder Mangan oder beide Körper neben einander enthält. Die Erreichung dieses Ziels ist unmöglich, wenn eine eisenreiche Schlacke entsteht. Silicium und Mangan können als schwerer reducirbare, leichter oxydirbare Körper überhaupt nicht reducirt und vom Eisen aufgenommen werden, so lange noch grössere Mengen Eisenoxydul zugegen sind; ebensowenig kann Kohlenstoff, welcher vom Sauerstoffe des Eisenoxyduls verbrannt werden würde, in grösseren Mengen vom Eisen aufgenommen werden, wenn dieses in hoher Temperatur mit einer eisenoxydulreichen Schlacke in Berührung ist. Das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff wächst aber mit der Temperatur in stärkerem Maasse als dasjenige des Eisens, Mangans, Siliciums und anderer Körper zum Sauerstoff (Seite 38); je höher also die Temperatur bei irgend einem Verfahren der Eisendarstellung ist, desto weniger Kohlenstoff kann das erfolgende Eisen neben einem bestimmten Eisenoxydulgehalte der Schlacke enthalten, oder umgekehrt, desto niedriger muss der Eisenoxydulgehalt der Schlacke sein, wenn das Eisen einen bestimmten Kohlenstoffgehalt aufnehmen soll. Je kohlenstoff-, silicium- und manganreicher also das erfolgende Roheisen und je höher die Temperatur im Hochofen ist, desto eisenärmer fällt die Schlacke aus, und wie sich beim Hochofenbetriebe fast täglich beobachten lässt, bringt eine Aenderung in der Beschaffenheit des einen Erzeugnisses auch sofort eine entsprechende Aenderung in der Beschaffenheit des andern mit sich.

Zahlreiche andere Beispiele der genannten Einflüsse auf die Zusammensetzung der Schlacken werden sich bei Besprechung der einzelnen Verfahren ergeben.

2. Eintheilung und Benennung.

Ihrer allgemeinen chemischen Zusammensetzung nach kann man die Schlacken eintheilen in

Silikatschlacken mit reichlichem Kieselsäuregehalte (20 v. H. und darüber);

Phosphatschlacken, in welchen die Kieselsäure zum grösseren Theile durch Phosphorsäure ersetzt ist; und

Oxydschlacken, in welchen nur verhältnissmässig unbedeutende Mengen von Kieselsäure oder Phosphorsäure auftreten und Oxyde der

Metalle, insbesondere der Schwermetalle (Eisen und Mangan), den Hauptbestandtheil ausmachen.

Zahlreiche Uebergänge von der einen zur andern Gattung kommen jedoch vor, und scharfe Grenzen lassen sich deshalb nicht ziehen. Ganz reine Phosphat- oder Oxydschlacken kommen überhaupt kaum vor; Silikatschlacken, wenn auch selten ganz rein,[1]) sind unter allen die häufigsten.

Da nun von dem Kieselsäuregehalte dieser Silikatschlacken zum grossen Theil ihre Schmelztemperatur und ihr sonstiges Verhalten in den Schmelzöfen abhängt, ist man von Alters her gewohnt, sie gemäss diesem Kieselsäuregehalte in verschiedene Silicirungsstufen mit bestimmten Benennungen einzutheilen. Man spricht von einem Trisilikat, wenn der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure dreifach so gross ist als der der Basen; von einem Bisilikat, wenn die Kieselsäure doppelt so viel Sauerstoff als die Basen enthält; von einem Sesquisilikat, wenn der Kieselsäuresauerstoff das Anderthalbfache von dem Basensauerstoffe beträgt; von einem Singulosilikat, wenn in beiden der Sauerstoffgehalt gleich hoch ist. Die Benennungen sind in einer Zeit entstanden, wo man allgemein annahm, dass, wo Kieselsäure und basische Körper sich vereinigen, durchaus eine engere chemische Verbindung gebildet werden müsse, und obgleich in Wirklichkeit nur bei sehr wenigen Schlacken das Verhältniss der Kieselsäure zu den Basen genau jenen einfachen Verhältnissen entspricht, häufiger sich regellos innerhalb ziemlich weiter Grenzen bewegt, macht man doch auch jetzt noch selbst im Betriebe von den erwähnten Benennungen Anwendung, um allgemein die Zusammensetzung einer Schlacke zu kennzeichnen.

Kieselsäurereichere Schlacken als Trisilikate kommen bei der Eisenerzeugung nicht vor; basischere als Singulosilikate dagegen sind ziemlich häufig und bilden den Uebergang zwischen den Silikatschlacken zu den erwähnten Oxydschlacken.

Neben Kalkerde, Magnesia und anderen Basen pflegt in den Silikatschlacken Thonerde in grösserer oder geringerer Menge aufzutreten. Die Thonerde, an und für sich keine kräftige Base, beeinflusst in mancher Hinsicht, zumal in basischen Schlacken, deren Verhalten ähnlich wie Kieselsäure; man hat daraus den Schluss gezogen, dass die Thonerde in jenen Schlacken eine chemisch gleichwerthige (die gleiche Menge Sauerstoff enthaltende) Menge Kieselsäure zu ersetzen fähig sei.[2]) Wenn diese Annahme auch nicht in jeder Beziehung volle Bestätigung findet, kann sie doch in gewissen Fällen die Beurtheilung des Verhaltens einer Schlacke nach ihrer chemischen Zusammensetzung erleichtern. Besondere Berücksichtigung wird dieser Gegenstand bei Besprechung des Hochofenbetriebes in der zweiten Abtheilung der Eisenhüttenkunde finden.

3. Schmelztemperatur, Schmelzbarkeit und Flüssigkeitsgrad.

Für den Verlauf der Verfahren, bei welchen Schlacken entstehen, ist deren Schmelztemperatur eine der wichtigsten Eigenschaften, und

1) Die meisten Silikatschlacken enthalten gelöste Sulfide.

2) Näheres hierüber in den unter Litteratur genannten Abhandlungen von Muirhead und Kosmann; ferner in „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 1.

nicht selten ist der Fall, dass die Durchführung eines Verfahrens unmöglich oder doch erheblich erschwert wird, wenn die Schmelztemperatur der erfolgenden Schlacke zu hoch oder zu niedrig liegt.

In naher Beziehung zu der Schmelztemperatur steht die Schmelzbarkeit. Sie verhält sich umgekehrt wie die Wärmemenge, welche die Schlacke zum Schmelzen gebraucht: je grösser der Wärmeverbrauch ist, desto schwerer schmelzbar ist die Schlacke, und desto höher ist der erforderliche Brennstoffverbrauch für ihre Schmelzung. Jene zum Schmelzen erforderliche Wärmemenge ist von der specifischen Wärme der Schlacke und ihrer Schmelztemperatur abhängig; je höher die letztere liegt, desto schwerer schmelzbar ist im Allgemeinen die Schlacke.

Ueber die Einflüsse der chemischen Zusammensetzung auf die Schmelztemperatur und Schmelzbarkeit der Schlacken kennen wir fast nur allgemeine Regeln. Dieser Mangel findet eine triftige Begründung in dem Umstande, dass jede Aenderung in der Zusammensetzung der Schlacken, jedes Hinzutreten eines neuen Körpers auch die Schmelztemperatur und Schmelzbarkeit ändert, und dass sich aus den verschiedenen schlackenbildenden Körpern in verschiedenen Gewichtsmengen eine unbegrenzte Zahl von Vereinigungen bilden lässt.

Geht man von der Anschauung aus, dass die Schlacken Lösungen verschiedener Körper, insbesondere verschiedener Sauerstoffverbindungen, in einander sind, so wird man am leichtesten zu einer richtigen Beurtheilung der Einflüsse, welche hier maassgebend sind, gelangen.

Die Lösungsfähigkeit verschiedener Körper in einander ist bekanntlich verschieden. Unter den in den Schlacken auftretenden Körpern lösen sich Kieselsäure und Phosphorsäure verhältnissmässig leicht mit Basen; Thonerde bildet Lösungen mit Kalkerde, Magnesia u. a. m., die Aluminate; auch Eisenoxyd und Kalkerde vermögen sich gegenseitig zu lösen.[1]) Die Erkennung des Löslichkeitsvermögens dieser Körper wird oft durch den Umstand erschwert, dass zur Bildung der Lösungen sehr hohe Temperaturen erforderlich sind. Wie diejenigen Lösungen, welche in gewöhnlicher Temperatur flüssig sind, leichter entstehen, wenn mindestens einer der Bestandtheile (welchen man in diesem Falle das Lösungsmittel zu nennen pflegt) schon flüssige Form besitzt, so entstehen die Schlacken meistens erst in Temperaturen, bei welchen wenigstens ein Sintern des einen oder anderen der zu vereinigenden Körper eintritt. Die gegenseitige Berührung dieser Körper ist im festen Zustande eben zu wenig innig, als dass Vereinigung stattfinden könnte. Wie aber schon früher hervorgehoben wurde, liegt die Erstarrungstemperatur (oder Schmelztemperatur) der fertiggebildeten Lösung (Schlacke) häufig weit tiefer als die Erstarrungs- oder Schmelztemperatur jedes einzelnen ihrer Bestandtheile; man sagt daher mit Recht, dass die Entstehungs-

1) Diese früher von Percy, Schinz u. A. beobachtete Thatsache wurde später mehrfach bestätigt. Tholander (Experimentelle Untersuchungen über die Reduction von Eisenerzen, Seite 119) fand, dass schon bei einer den Schmelzpunkt des Silbers wenig übersteigenden Temperatur, also bei etwa 1000° C., Eisenoxyd und Kalk vollständig zusammenschmelzen; Wasum hob in einer Arbeit über die Feuerbeständigkeit basischer Materialien (Verhandl. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1884, Seite 104) hervor, dass kalkreiche Ofenfutter durch Eisenoxyde stärker als selbst durch Kieselsäure oder Phosphorsäure angegriffen werden.

temperatur der Schlacken höher liege als ihre Schmelztemperatur.[1]) Je weniger Berührungsoberfläche die einzelnen Körper, aus denen die Schlacke entstehen soll, darbieten, je grossstückiger sie also sind, desto schwieriger erfolgt die Vereinigung, desto höher liegt die Entstehungstemperatur der Schlacke.

Wenn nun aber bei der Lösung eines Körpers in einem zweiten die Schmelztemperatur der Vereinigung niedriger wird als diejenige der Bestandtheile, so muss es offenbar ein gewisses gegenseitiges Gewichtsverhältniss der in einander gelösten Körper geben, bei welchem die Schmelz- oder Erstarrungstemperatur ihr niedrigstes Maass erreicht und durch die Anreicherung des einen wie des andern Bestandtheils wieder erhöht wird. Bei verschiedenen Metalllegirungen hat man die der niedrigsten Schmelztemperatur entsprechenden gegenseitigen Gewichtsverhältnisse ermittelt; bei den Schlacken war die Erlangung zuverlässiger Ergebnisse schwieriger wegen der zur Durchführung der Versuche erforderlichen höheren Temperatur. Deutlich aber zeigt sich bei der Schlackenbildung das nämliche Gesetz, welches auch bei den Metalllegirungen und vermuthlich bei der grössten Zahl aller Lösungen überhaupt seine Gültigkeit besitzt: dass die Erstarrungstemperatur im Allgemeinen um so tiefer liegt, je grösser die Zahl der in der Vereinigung auftretenden einzelnen Körper ist.

Für die Metallurgie ist dieser Umstand von Wichtigkeit. Hochofenschlacken, nur aus Kalkerde und Kieselsäure bestehend, würden oft gar nicht schmelzbar sein; ihr Schmelzpunkt erniedrigt sich, wenn sie noch Magnesia, Thonerde, Eisenoxydul, Manganoxydul aufnehmen; ähnliche Fälle sind häufig.

Hieraus folgt aber, dass für die Beurtheilung der Schmelzbarkeit einer Schlacke durch die chemische Analyse nicht allein das Verhältniss der Kieselsäure (oder der Kieselsäure nebst Thonerde, unter Umständen, z. B. in der Thomasschlacke, der Kieselsäure neben Phosphorsäure) zu den Basen maassgebend sein kann, sondern dass hierbei auch die Zahl der überhaupt neben einander auftretenden Basen in Betracht kommt. Je grösser die Zahl dieser Basen ist, desto niedriger liegt im Allgemeinen, wie erwähnt, bei gleichem Silicirungsgrade die Schmelztemperatur; ebenso vermag ein theilweiser Ersatz der Kieselsäure durch andere, die Rolle einer Säure übernehmende Körper (Thonerde, Phosphorsäure) die Schmelztemperatur der Schlacken zu ermässigen, nur weil die Gesammtzahl der in einander gelösten Körper hierdurch vergrössert wird.

Ueber die Schmelzbarkeit der Schlacken, welche Kieselsäure, Thonerde, Kalkerde und Magnesia enthalten, sind bislang die umfassendsten Versuche durch Åkerman angestellt worden.[2]) Er ermittelte durch Eingiessen der geschmolzenen Schlacke in Wasser die von ihr aufgenommene Wärmemenge; je geringer diese ist, desto leichter schmelzbar

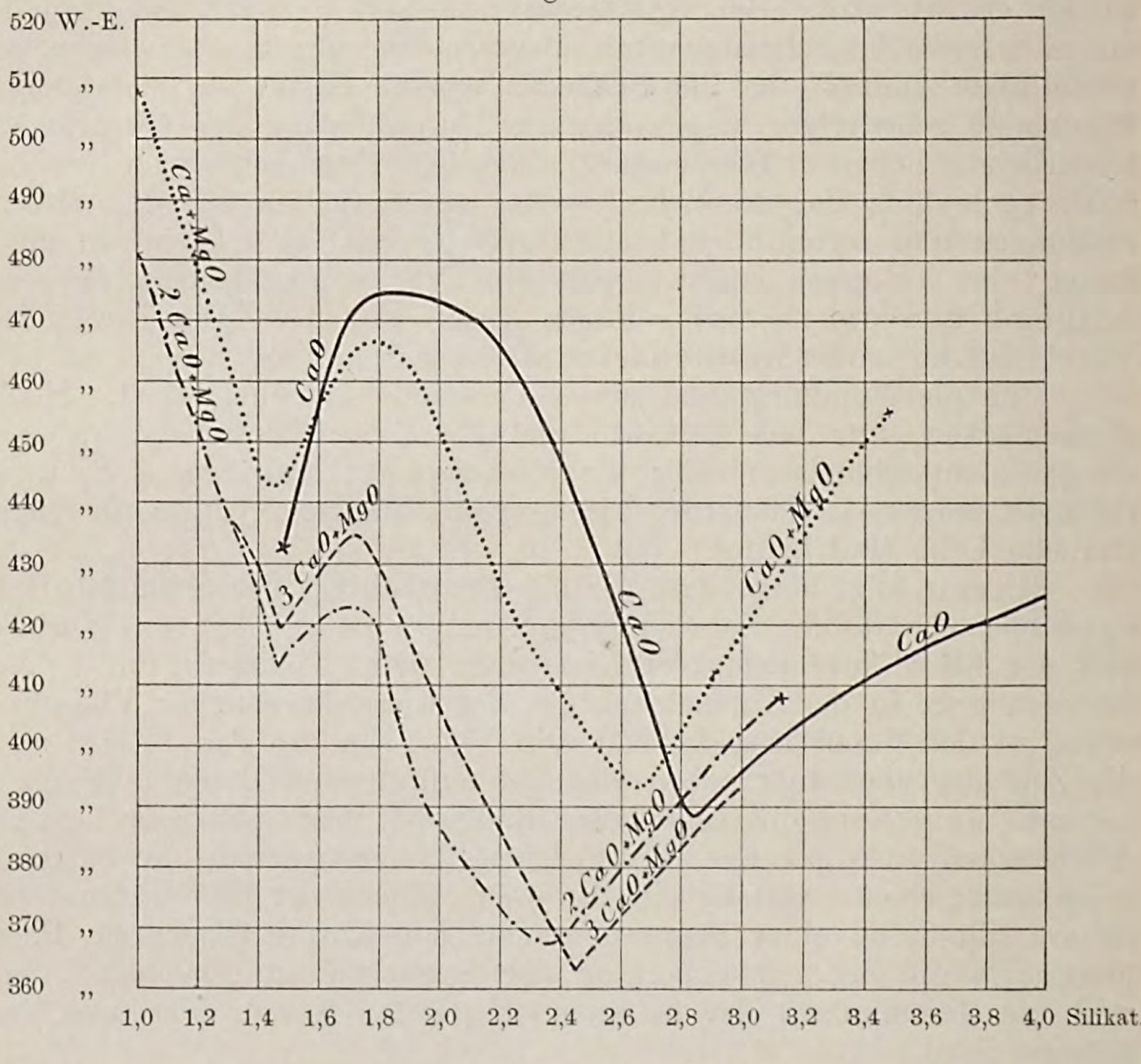
1) Dieser von Plattner zuerst aufgestellte Lehrsatz ist von Schinz angefochten worden, hat jedoch vom allgemeinen Gesichtspunkte aus seine vollständige Richtigkeit. Auch Bischof bestätigt in seinen Arbeiten über feuerfeste Thone die Richtigkeit.

2) Vergleiche Litteratur.

ist die Schlacke. In naher Beziehung zu der Schmelzbarkeit der Schlacken steht, wie oben erwähnt wurde, ihre Schmelztemperatur; die leichter schmelzbare Schlacke besitzt gewöhnlich die niedrigere Schmelztemperatur.

Aus Åkermans Untersuchungen lässt sich bezüglich des Einflusses eines verschiedenen Kieselsäuregehalts folgern, dass unter den thonerdefreien oder thonerdearmen Silikaten der Kalkerde und Magnesia zwar im Allgemeinen diejenigen am leichtschmelzigsten sind, welche zwischen Bi- und Trisilikat stehen, und dass sowohl mit

Fig. 55.

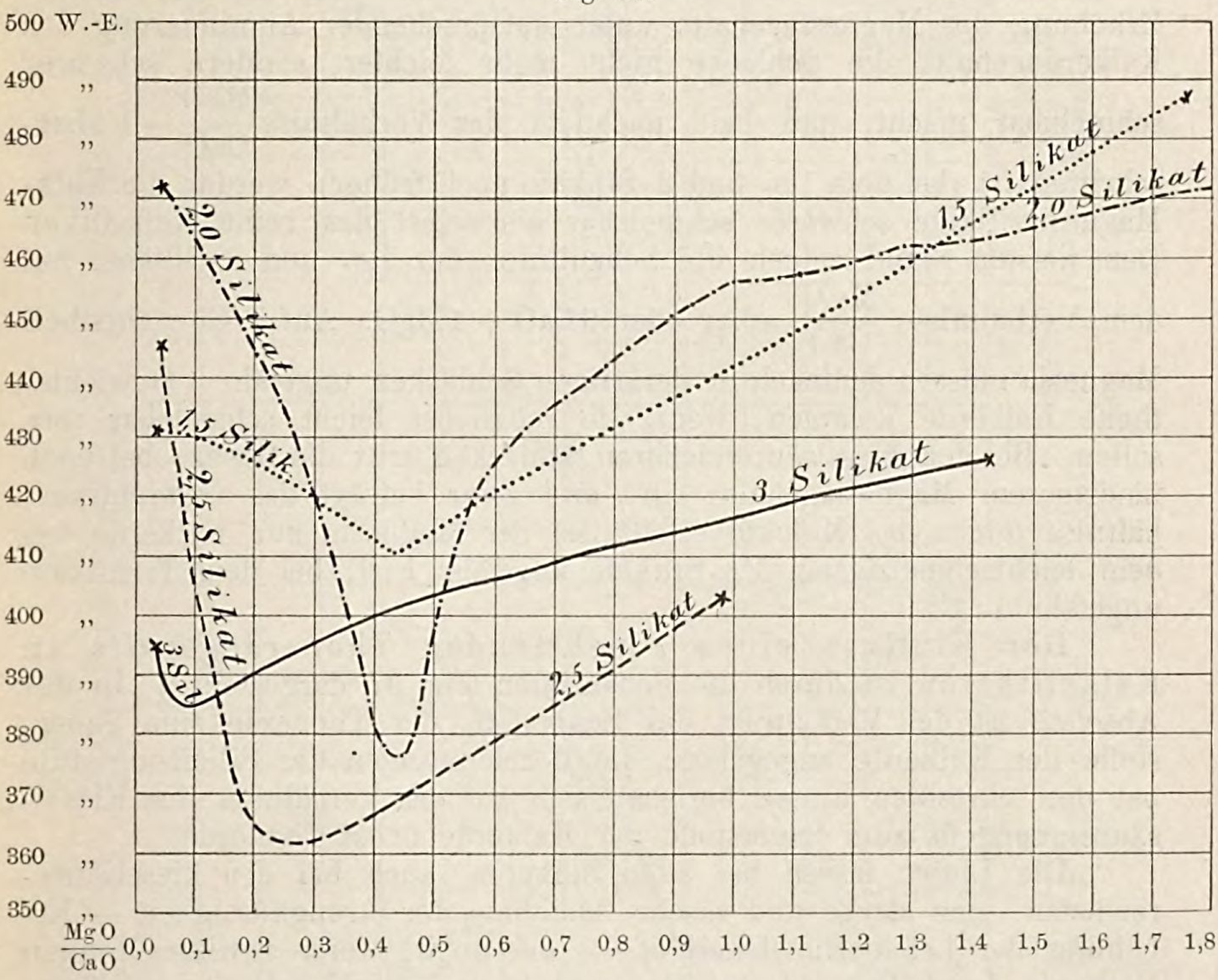


zunehmendem Basen- als zunehmendem Kieselsäuregehalte der zum Schmelzen erforderliche Wärmebedarf steigt, dass aber seltsamerweise auch die Silikate, in welchen das Sauerstoffverhältniss der Kieselsäure zu den Basen = 1,5 ist (Sesquisilikate), sich durch Leichtschmelzbarkeit sowohl vor den basischeren als vor den etwas kieselsäurereicheren Silikaten auszeichnen, indem sie selbstständig aus der Reihe heraustreten. Die in Fig. 55 verzeichneten Schaulinien der Schmelzbarkeit sowohl der reinen Kalksilikate als dreier verschiedener Kalkmagnesiasilikate lassen diese Thatsache erkennen. Die Angaben CaO, CaO + MgO, u. s. f. neben den Linien bezeichnen das Verhältniss zwischen Kalk und Magnesia. Die mit CaO bezeichnete Linie giebt das Verhalten des

reinen Kalksilikats mit verschiedenem Kieselsäuregehalte an; in den Silikaten der Linie CaO + MgO ist ein Molekül Kalkerde neben einem Molekül Magnesia zugegen (oder die Menge des Kalkerdesauerstoffs ist gleich der des Magnesiasauerstoffs) u. s. f.; das Verhältniss des Kieselsäuresauerstoffs zum Basensauerstoff ist in der Abscisse, die von der geschmolzenen Schlacke aufgenommene Wärmemenge in der Ordinate angegeben. Die Uebereinstimmung der vier Linien giebt den Beweis, dass keine Täuschung bei den Versuchen obwaltete.

Geht der Kieselsäuregehalt unter den des erwähnten Sesquisilikats herunter, so nimmt die Strengflüssigkeit der Schlacke rasch zu.

Fig. 56.



Die Singulosilikate sind durchweg schwerer schmelzbar als selbst die kieselsäurereichsten der untersuchten Schlacken.

In Hunderttheilen des Schlackengewichts ausgedrückt beträgt der Kieselsäuregehalt der als am leichtesten schmelzbar gefundenen Schlacken:

	CaO	3 Ca + MgO	2 CaO + MgO	Ca + MgO
bei den 1,5-Silikaten	45 v. H.	46,5 v. H.	47,1 v. H.	48,4 v. H.
bei den noch leichter schmelzbaren Silikaten zwischen Bi- und Trisilikat	61 „ „	59,1 „ „	58,5 „ „	63,2 „ „

Unter den thonerdefreien Kalkmagnesiaschlacken sind demnach solche mit ungefähr 60 v. H. Kieselsäure am leichtesten schmelzbar, und

unter den basischeren Schlacken dieser Gruppe zeichnen sich solche mit ungefähr 47 v. H. Kieselsäure durch Leichtschmelzbarkeit aus.

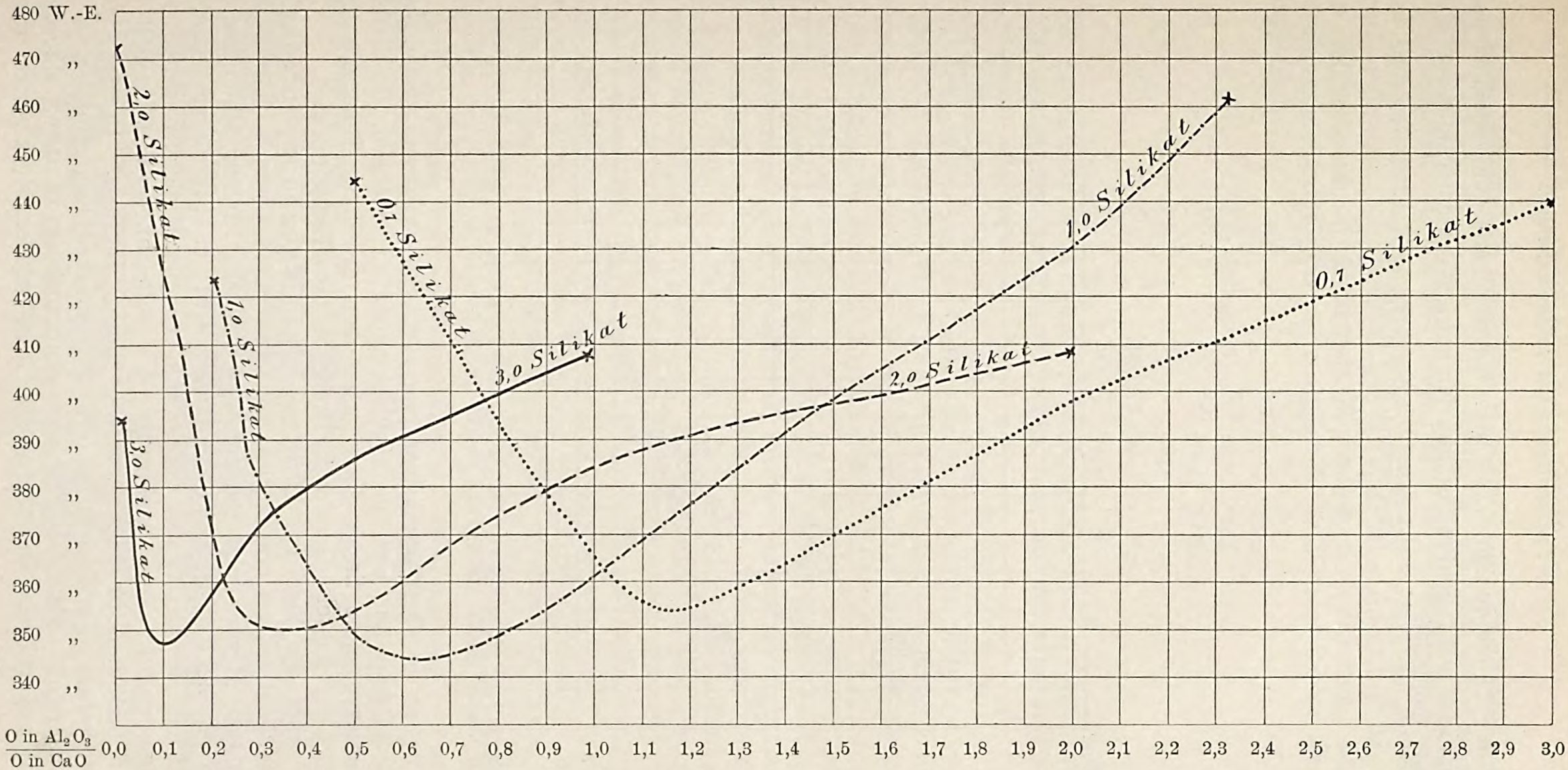
Der Einfluss eines wechselnden Verhältnisses zwischen Kalkerde und Magnesia auf die Schmelzbarkeit der gleichen Silicirungsstufe ist durch die Schaulinien Fig. 56 dargestellt. Die Abscisse giebt das Verhältniss des Magnesiasauerstoffs zum Kalkerdesauerstoffe (oder der Magnesiamoleküle zu den Kalkerdemolekülen) an. Es zeigt sich deutlich, dass die reinen Kalkerdesilikate sofort leichter schmelzbar werden, wenn ein gewisser Theil der Kalkerde durch Magnesia ersetzt wird. Sehr bedeutend ist diese Erhöhung der Schmelzbarkeit bei dem 2- und 2,5-Silikate, weniger erheblich bei dem 1,5- und 3-Silikate. Ziemlich bald aber tritt die Grenze ein, wo eine fernere Erhöhung des Magnesiagehalts unter entsprechender Abminderung des Kalkerdegehalts die Schlacke nicht mehr leichter, sondern schwerer schmelzbar macht, und bald nachdem das Verhältniss $\frac{MgO}{CaO} = 1$ überschritten ist (bei dem 1,5- und 3-Silikate noch früher), werden die Kalk-Magnesiasilikate schwerer schmelzbar als selbst das reine Kalksilikat. Den tiefsten Stand zeigen die Schaulinien der 1,5- und 2-Silikate bei dem Verhältnisse $\frac{MgO}{CaO} = 0,44$ oder $9CaO + 4MgO$. Auf 1 Gewichtstheil Magnesia müssen demnach in derartigen Schlacken ungefähr 3 Gewichtstheile Kalkerde kommen, wenn sie möglichst leicht schmelzbar sein sollen. Bei den kieselsäurereicheren Schlacken tritt die Grenze bei noch niedrigerem Magnesiagehalte ein, und zwar beträgt das Gewichtsverhältniss (nicht das Molekülverhältniss) der Magnesia zur Kalkerde bei dem leichtschmelzigsten 2,5-Silikate ungefähr 1 : 6, bei dem Trisilikate ungefähr 1 : 12.

Der Einfluss eines zunehmenden Thonerdegehalts in Kalksilikaten ist durch die Schaulinien Fig. 57 dargestellt.[1]) In der Abscisse ist das Verhältniss des Sauerstoffs der Thonerde zum Sauerstoffe der Kalkerde angegeben; die Bezeichnungen der Silicirungsstufe bei den einzelnen Linien beziehen sich auf das Verhältniss des Kieselsäuresauerstoffs zum Sauerstoffe der Kalkerde nebst Thonerde.

Die Linien lassen bei allen Silikaten, auch bei den kieselsäurereichsten, eine starke und rasche Abnahme der Strengflüssigkeit — Erhöhung der Leichtschmelzbarkeit — erkennen, wenn gewisse Mengen Kalkerde durch Thonerde ersetzt werden, und ein Vergleich der Ziffern, welche die aufgenommenen Wärmemengen angeben, mit den gleichen Ziffern der Kalk-Magnesiareihe in Fig. 56 zeigt, dass man durch einen bestimmten Thonerdezusatz zu Kalksilikaten noch leichter schmelzbare Schlacken erzeugen kann als durch Magnesiazusatz. Auch das thonerdehaltige Trisilikat ist leichter schmelzbar als das magnesiahaltige. Je kieselsäurereicher aber die Schlacken sind, desto früher tritt die Grenze ein, wo mit zunehmendem Thonerdegehalte die Schlacke nicht mehr leichter sondern schwerer schmelzbar wird. Das Gewichtsverhält-

1) In Åkermans Arbeit sind auch die Schaulinien für 0,5-, 1,5- und 2,5-Silikate angegeben. Da ihr Verlauf sich nicht wesentlich von dem der hier verzeichneten unterscheidet, sind sie zur Erleichterung der Uebersichtlichkeit weggelassen.

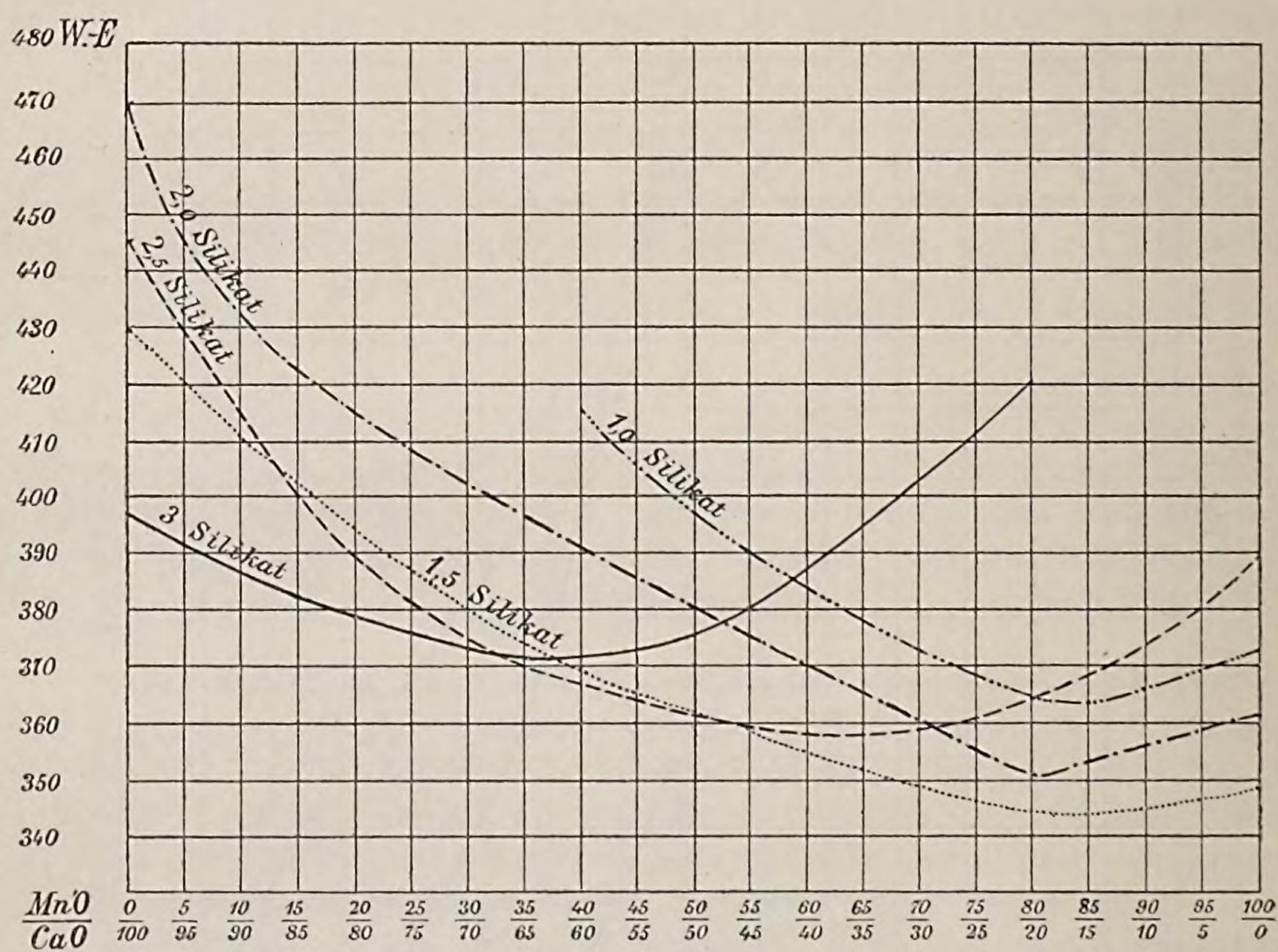
Fig. 57.


480 W.-E.
470 ,,
460 ,,
450 ,,
440 ,,
430 ,,
420 ,,
410 ,,
400 ,,
390 ,,
380 ,,
370 ,,
360 ,,
350 ,,
340 ,,
O in Al_2O_3 / O in CaO
0,0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3 1,4 1,5 1,6 1,7 1,8 1,9 2,0 2,1 2,2 2,3 2,4 2,5 2,6 2,7 2,8 2,9 3,0
2,0 Silikat
3,0 Silikat
1,0 Silikat
0,1 Silikat
3,0 Silikat
2,0 Silikat
1,0 Silikat
0,1 Silikat

niss der Thonerde zur Kalkerde, bei welchem die verschiedenen von Åkerman untersuchten Silikate sich am leichtesten schmelzbar erwiesen, beträgt annähernd:

bei	dem	0,5 -	Silikate	7 : 5
„	„	0,7	„	7 : 8
„	„	1,0	„	1 : 2
„	„	1,5	„	1 : 4,5
„	„	2,0	„	1 : 6
„	„	2,5	„	1 : 13
„	„	3,0	„	1 : 30.

Fig. 58.



Das heisst: je kieselsäureärmer eine Schlacke ist, desto thonerdereicher muss sie sein, um sich als leichtschmelzig zu erweisen. In diesem allgemeineren Sinne findet daher jene oben erwähnte Theorie von dem Ersatze der Kieselsäure durch Thonerde ihre Bestätigung.

Auch die über den „Einfluss eines Manganoxydulgehalts in Kalkerdesilikaten von Åkerman angestellten Versuche bestätigten die allgemeine Regel, nach welcher eine Schlacke leichter schmelzbar wird, wenn ein neuer Körper aufgenommen wird; d. h. in diesem Falle, wenn ein Theil der Kalkerde durch eine chemisch gleichwerthige Menge Manganoxydul ohne Aenderung des Silicirungsgrades ersetzt wird. Die Schaulinien in Fig. 58 zeigen diesen Einfluss. In der Abscisse ist wiederum das Verhältniss des Manganoxydulsauerstoffs zum Kalkerdesauerstoff (oder der Manganoxydulmoleküle zu den Kalkerdemolekülen) angegeben. Das Schaubild lässt zunächst erkennen, dass die

reinen Mangansilikate mit alleiniger Ausnahme des Trisilikats leichter schmelzbar sind als die reinen Kalkerdesilikate, aber schwerer schmelzbar als die Silikate, in welchen beide Basen in entsprechendem gegenseitigen Gewichtsverhältnisse anwesend sind. Setzt man an Stelle des Molekülverhältnisses zwischen Kalkerde und Manganoxydul das Gewichtsverhältniss ein, so erhält man folgende Zusammensetzung der am leichtesten schmelzbaren Silikate, ausgedrückt in Hunderttheilen des Gesammtgewichts:

	SiO_2	MnO	CaO
3,0-Silikat	59,2	18,6	22,2
2,5 „	53,6	30,4	16,0
2,0 „	46,8	44,4	8,8
1,5 „	40,0	50,2	9,8
1,0 „	30,4	61,1	8,5.

Je basischer demnach die Schlacken sind, desto höher muss ihr Manganoxydulgehalt sein, um sie möglichst leichtschmelzig zu machen.

Nach Maassgabe des oben besprochenen Einflusses eines Magnesia- und Thonerdegehalts auf die Kalkerdesilikate ist es nicht zweifelhaft, dass auch die Kalkerde-Manganoxydulsilikate noch leichter schmelzbar werden können, wenn ein Theil der Kalkerde durch Magnesia, ein Theil der Kieselsäure durch Thonerde ersetzt wird.

Ueber den Einfluss eines Eisenoxydulgehalts auf die Schmelzbarkeit der Schlacken liegen nur vereinzelte, nicht immer ganz zuverlässige Ermittelungen vor;[1]) aus den Beobachtungen im Betriebe wie aus der Aehnlichkeit des allgemeinen chemischen Verhaltens des Eisen- und Manganoxyduls lässt sich folgern, dass Eisenoxydul ähnliche, aber nicht ganz so kräftige Einflüsse auf die Eigenschaften der Schlacken, insbesondere auf ihre Schmelzbarkeit, ausübt, wie Mangan. Wie diese Einflüsse sich ändern, wenn neben Eisenoxydul auch Eisenoxyd auftritt (in stark basischen Schlacken, z. B. Puddelschlacken, Schweissofenschlacken), ist durch besondere Versuche noch nicht festgestellt worden; jedenfalls pflegen derartige Schlacken ziemlich strengflüssig zu sein.

Einem Titansäuregehalte der Schlacken schreibt man häufig die Einwirkung zu, die Schlacken strengflüssig zu machen. In der That fand Åkerman bei seinen erwähnten Untersuchungen, dass zwei Hochofenschlacken mit nachstehender Zusammensetzung

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO
Schlacke von Mobro .	37,05	10,22	7,43	15,05	27,65	0,45	2,34
„ „ Lindefors	39,20	8,50	9,59	12,65	27,25	0,53	1,54

strengflüssiger waren, als die meisten sonstigen von ihm untersuchten Hochofenschlacken, und zwar war die Schlacke von Lindefors am strengflüssigsten;[2]) betrachtet man indess etwas näher die Zusammensetzung dieser Schlacken (annähernd Singulosilikate, sofern man Thonerde und

1) Annales des mines, série 7, tome 4, pag. 241 (Gruner); Dinglers polyt. Journal, Band 165, Seite 379 (Bischof).

2) Wärmeverbrauch zum Schmelzen der Schlacke von Mobro 433 W.-E., der Schlacke von Lindefors 463 W.-E., sonstiger Hochofenschlacken ohne Titansäure 340—458 W.-E.; mittlerer Wärmebedarf bei 74 Schlacken 388 W.-E.

Titansäure den Basen zurechnet), so findet man ein so ungünstiges Verhältniss der Magnesia zur Kalkerde, dass vornehmlich hierin und nicht in dem Titansäuregehalte die Ursache der Schwerschmelzbarkeit zu suchen ist. Reine Kalkerde-Magnesiasilikate mit dem gleichen Gewichtsverhältnisse der beiden Basen sind kaum schmelzbar (vergleiche oben Fig. 56).

Dagegen fand Rossi bei Schmelzversuchen mit titanreichen Erzen im Hochofen,[1]) dass die hierbei entstehenden, als Basen Thonerde, Kalkerde, Magnesia und kleine Mengen Eisenoxydul enthaltenden Schlacken leicht schmelzbar sind, wenn das Verhältniss des Sauerstoffs der Kieselsäure nebst Titansäure zu dem Sauerstoff der genannten Basen annähernd 4:3 beträgt, dass sie aber rascher als reine Silikate strengflüssig werden, wenn der Basengehalt über jenes Verhältniss hinaus zunimmt. Ein geringer Magnesiagehalt neben Kalkerde erhöht, wie in den titansäurefreien Silikaten die Schmelzbarkeit. So z. B. erwiesen sich Schlacken von folgender Zusammensetzung als durchaus leicht schmelzbar:

TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	Sauerstoffverhältniss $\frac{SiO_2, TiO_2}{Al_2O_3, CaO, MgO, FeO}$
26,81	20,59	10,17	20,60	10,24	6,90	1,25
28,48	16,00	12,00	26,00	10,00	6,50	1,74
32,90	14,82	10,45	21,02	9,50	4,50	1,33
34,50	18,00	12,70	27,60	10,00	—	1,33
38,20	11,94	15,00	23,40	6,50	5,00	1,29
40,50	15,60	10,00	24,00	8,00	2,00	1,60

Das Gewichtsverhältniss der Magnesia zur Kalkerde und der Thonerde zu den übrigen Basen bewegt sich bei allen diesen Schlacken innerhalb jener Grenzen, bei welchen nach den auf Seite 194 gegebenen Mittheilungen verhältnissmässig leicht schmelzbare Schlacken entstehen können.

Fluorcalcium (Flussspath) und Chlorcalcium machen, wenn sie von Silikatschlacken aufgenommen werden, diese leichter schmelzbar. Wissenschaftliche Untersuchungen über den Schmelzwärmebedarf solcher Schlacken liegen zwar nicht vor, aber im Betriebe macht man bisweilen mit Erfolg Anwendung von jenem Einflusse der genannten Körper, wenn die Aufgabe vorliegt, stark basische, insbesondere kalkreiche, aber nicht zu schwierig schmelzbare Schlacken zu bilden.

Unmittelbare Ermittelungen der Schmelztemperaturen von Schlacken bestimmter Zusammensetzung sind nur vereinzelt angestellt worden. Wenn die Schlacke, wie es häufig der Fall ist, nicht plötzlich flüssig oder starr wird, sondern vor dem Schmelzen allmählich erweicht und bei der Abkühlung wieder ebenso allmählich erstarrt, ist es überhaupt nicht möglich, genau den Zeitpunkt festzulegen, wo Schmelzung oder Erstarrung eintritt. Die meisten Schlacken der Eisendarstellung schmelzen, d. h. werden vollständig flüssig in Temperaturen zwischen 1100° C. und 1400° C.

1) „Stahl und Eisen" 1896, Seite 310.

Häufiger hat man versucht, die Entstehungstemperatur der Schlacken zu bestimmen, indem man die verschiedenen Bestandtheile mischte und bis zum eintretenden Schmelzen erhitzte. Für den Verlauf mancher Verfahren, z. B. des Hochofenschmelzens, ist in Wirklichkeit diese Entstehungstemperatur von nicht minderer Bedeutung als die Schmelztemperatur. Wie aber schon oben erwähnt wurde, ist die Entstehungstemperatur nicht allein von der chemischen Zusammensetzung sondern auch von der äusseren Form abhängig, welche die Bestandtheile vor ihrer Vereinigung besitzen. Je inniger sie sich gegenseitig berühren, desto leichter lösen sie sich in einander, desto niedriger ist die Entstehungstemperatur. Deshalb besitzen derartige Ermittelungen nur beschränkten Werth, und die Ergebnisse sind geeignet, leicht zu Trugschlüssen zu verleiten.

Eine mit der Schmelzbarkeit verwandte Eigenschaft ist der Flüssigkeitsgrad oder die Dünnflüssigkeit geschmolzener Körper. Die in niedrigerer Temperatur schmelzbaren Körper sind jedoch keineswegs immer die dünnflüssigeren. Je allmählicher der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand stattfindet, desto weniger dünnflüssig pflegt der geschmolzene Körper zu sein.

Schlacken, welche allmählich erweichen, dabei einen bildsamen Zustand durchlaufend, in welchem sie sich wie erhitztes Glas in Formen drücken und zu langen Faden ausziehen lassen, nennt man zäh. Hierher gehören vornehmlich die kieselsäurereicheren und zugleich thonerdehaltigen Kalkerde-Magnesiasilikate (Bi- und Trisilikate). Mit dem Thonerdegehalte dieser Silikate wächst im Allgemeinen das Maass dieser Eigenschaft.

Schlacken, welche, ohne einen teigartigen Zustand zu durchlaufen, ihren Aggregatzustand plötzlich wechseln, heissen kurz. Besonders deutlich zeigen kalkerdereiche und zugleich thonerdearme Schlacken dieses Verhalten. Im geschmolzenen Zustande pflegen sie dünnflüssiger als jene zähen Schlacken zu sein, auch wenn ihre Schmelztemperatur höher liegt.

Eisenoxydul und mehr noch Manganoxydul erhöhen die Dünnflüssigkeit derjenigen Schlacken, welche als Hauptbestandtheile Kieselsäure, Thonerde, Kalkerde und Magnesia enthalten, sei es, dass diese sämmtlichen genannten Körper oder nur einzelne zugegen sind. Basische Schlacken mit einem grössern Gehalte an Eisen- oder Manganoxydul pflegen weniger plötzlich als solche ohne diesen Gehalt zu erstarren, sie sind weniger kurz; bei kieselsäurereichen, zähen Schlacken dagegen lässt sich deutlich eine Abminderung ihrer Fähigkeit, Faden zu ziehen, also ihrer Zähigkeit, erkennen, wenn sie Gelegenheit fanden, auch nur beschränkte Mengen der genannten Körper aufzunehmen.

Titansäurereiche Schlacken erwiesen sich nach Rossi's oben erwähnten Versuchen als sehr dünnflüssig.

4. Das Gefüge.

Dem Aussehen der Bruchfläche gemäss pflegt man glasige Schlacken, derbe oder steinige Schlacken und krystallinische Schlacken zu unterscheiden.

Die Beschaffenheit des Gefüges ist theils von der chemischen Zusammensetzung, theils von den Abkühlungsverhältnissen abhängig.

Glasige Beschaffenheit erhalten nur die kieselsäurereicheren Schlacken bei nicht allzu verlangsamter Abkühlung. Einen Uebergang zwischen den glasigen zu den steinigen Schlacken, jedoch den ersteren näher stehend, bilden die sogenannten Emailschlacken, schwach durchscheinend, hell gefärbt, gewöhnlich mit reicherem Gehalte an Thonerde.

Langsame Abkühlung verwandelt eine glasige Schlacke in eine steinige oder krystallinische.

Daher gewahrt man nicht selten auf der Bruchfläche grösserer erstarrter Schlackenstücke verschiedene Gefügeformen neben einander; äusserlich, wo rasche Abkühlung stattfand, glasiges, im Innern krystallinisches Gefüge.

Schlacken, welche auch bei rascher Abkühlung steinige Beschaffenheit behalten, pflegen reich an Erden zu sein. Bei grossem Gehalte an Eisenoxyden zeigen die Schlacken eine derbe, dichte, mehr metall- als steinartige Bruchfläche (Puddel- und Frischfeuerschlacken, Schweissofenschlacken).

Ausgebildete Krystalle entstehen nur bei allmählicher Abkühlung in den Drusenräumen, welche im Innern grösserer Schlackenstücken sich bilden. Nicht alle Schlacken jedoch krystallisiren mit derselben Leichtigkeit. Sehr kieselsäurereiche Schlacken z. B., welche vor dem Erstarren einen teigartigen Zustand durchlaufen und nach dem Erstarren glasartige Beschaffenheit besitzen, liefern selten ausgebildete Krystalle. Eisenoxydulreiche Schlacken krystallisiren dagegen leicht; schön ausgebildete Krystalle finden sich auch in manchen zwischen Singulo- und Bisilikat stehenden Schlacken der Erden.[1])

Dass dagegen einzelne Bestandtheile der Schlacken im krystallisirten Zustande inmitten der nichtkrystallisirenden Grundmasse beim Erstarren ausscheiden können und hier entweder ohne Weiteres mit unbewaffnetem Auge oder auch in Dünnschliffen mit Hülfe des Mikroskops erkennbar sind, wurde schon oben erwähnt.

Gewisse kalkreiche und thonerdearme Schlacken, zumal Hochofenschlacken, besitzen die Neigung, schon beim Abkühlen zu Pulver zu zerfallen. Nach Platz[2]) beträgt der Gehalt solcher Schlacken an Basen mit Ausschluss der Thonerde mindestens 45 v. H.; ein hoher Magnesiagehalt neben verhältnissmässig wenig Kalk verhindert das Zerfallen; auch durch rasche Abkühlung lässt sich das Zerfallen verhüten. Die Ursache des Zerfallens ist, wie Platz nachweist, eine durch langsame Abkühlung beförderte Saigerung: ein Theil des Kalks und der verwandten Basen scheidet aus der unter dem Einflusse einer hohen Temperatur entstandenen Lösung aus, und das Ganze zerfällt, da infolge dieser Ausscheidung der Zusammenhang aufhört. Durch Beschleunigung der Abkühlung wird die Saigerung, wie in zahlreichen ähnlichen Fällen, verhindert.

Solche Pulverschlacken lassen sich, mit Wasser und Sand vermengt, wie gelöschter Kalk als Mörtel verwenden.

1) Ueber die in solchen Schlacken besonders häufig vorkommenden Krystallformen und die Abhängigkeit dieser Krystallformen von der chemischen Zusammensetzung vergleiche „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 392 (Akerman).

2) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 7.

Manche zähe, an Eisen- oder Manganoxydul arme Schlacken, insbesondere kieselsäurereiche Schlacken aus Holzkohlenhochöfen, blähen sich, wenn sie im flüssigen Zustande mit Wasser begossen werden, stark auf, dabei eine bimssteinartige Beschaffenheit annehmend. Man benutzt dieses Verhalten bisweilen zur Darstellung künstlichen Bimssteins, welcher als Schleifmittel für Holz benutzt wird. Solche Bimssteinschlacken lassen oft nach vielen Jahren einen deutlich wahrnehmbaren Geruch nach Schwefelwasserstoff erkennen, durch Zersetzung vorhandenen Schwefelcalciums entstanden.

5. Die Farbe.

Sehr mannigfaltig sind die Farben der in den Eisenhütten erfolgenden Schlacken. Zwischen dem fast reinen Porzellanweiss bis zum Tiefschwarz sind fast alle Farbentöne in Blau, Grün, Violett, Roth u. s. w. vertreten. Selten kommen rein gelbe Schlacken vor; deutlich rothe Schlacken finden sich mitunter, sind aber ebenfalls selten; am häufigsten sind grünliche und schwarze Schlacken.

Wie das Gefüge ist die Farbe der Schlacken theils abhängig von der chemischen Zusammensetzung, theils von den Abkühlungsverhältnissen. Eine und dieselbe Schlacke kann verschiedene Färbung erhalten, wenn sie in dem einen Falle rasch abgekühlt wird und dabei glasige Beschaffenheit annimmt, oder in dem andern Falle bei verzögerter Abkühlung mit krystallinischem Gefüge erstarrt. So findet man Schlacken mit grüner, glasiger Rinde und violettgrauem, krystallinischem Kern; oder mit violetter Kruste und weisslichgrauem Kern, oder sonstige abweichende Färbungen zeigend; aber die chemische Zusammensetzung der Rinde ist die nämliche wie die des Kerns. Auch entstandene Krystalle besitzen nicht selten eine wesentlich andere Farbe als die Grundmasse, aus der sie entstanden.

So z. B. zeigte eine Martinschlacke, als Probe in eine eiserne Form ausgegossen, an den rascher erkalteten Stellen, also rings am Umfange, glasige Beschaffenheit bei olivengrüner Farbe; der langsamer erkaltete Kern dagegen war steinig, undurchsichtig und schwarz von Farbe. Die von mir angestellte Untersuchung beider Theile ergab:

	in dem rasch erkalteten grünen Theile	in dem langsam erkalteten schwarzen Theile
Kieselsäure	48,03	48,10
Thonerde	1,60	1,85
Eisenoxydul	16,23	16,66
Manganoxydul	31,53	31,67
Kalkerde	nicht best.	1,08

Die Schlacke eines Holzkohlenhochofens, welche, vermuthlich auf einer eisernen Fussbodenplatte, äusserlich rasch, im Innern allmählich erkaltet war, zeigte äusserlich glasige Beschaffenheit und lichtgrüne Farbe, während der Kern körnig-krystallinisches Gefüge besass und schön ultramarinblau gefärbt war. Selbst im gepulverten Zustande behielt der Kern eine deutlich blaue Färbung bei. Die Analyse lieferte folgende Ergebnisse:

	rasch erkaltet, grün	langsam erkaltet, blau
Kieselsäure	43,43	43,33
Thonerde	17,80	17,28
Eisenoxydul	1,05	4,64
Manganoxydul	2,09	2,41
Kalkerde	33,30	31,57
Magnesia	—	Spur
Schwefel	nicht best.	nicht best.
Alkalien und Verlust	2,33	0,77

Ein ziemlich deutlicher Unterschied zeigt sich hier zwar im Eisengehalte, welcher in dem langsamer erkalteten Theile viermal so hoch ist als in dem rascher erkalteten, während letzterer sich entsprechend reicher an Kalkerde und Alkalien erwies. Immerhin ist der Unterschied in der gesammten Zusammensetzung der beiden Theile auch hier nicht bedeutend genug, um allein die erheblichen Abweichungen in ihren physikalischen Eigenschaften zu erklären, sondern die verschiedene Anordnung der Moleküle bei langsamer und rascher Abkühlung ist die eigentliche Ursache.

Die Einflüsse, welche die verschiedenen Bestandtheile der Schlacke auf ihre Färbung ausüben, sind nur zum Theile bekannt.

Schlacken, welche frei sind von Eisen- und Manganoxyden, also nur aus Silikaten der Erden bestehen, haben durchgängig helle, weissliche Farben.

Ein Eisenoxydulgehalt ertheilt schon in geringen Mengen grünliche Färbung, welche besonders in Bi- und Trisilikaten deutlich hervortritt. Steigt der Eisenoxydulgehalt, so wird die Schlacke schwarz.

Manche basische Schlacken zeigen auch schon bei geringem Eisenoxydulgehalte schwarze Färbung; in diesem Falle pflegt Schwefel neben dem Eisen zugegen zu sein und darf als Ursache der Färbung betrachtet werden.

Ein Manganoxydulgehalt neben Eisenoxydul ruft gelblichgrüne Farbentöne (gurkengrün, olivengrün) hervor, sofern Schwefel nicht in erheblichen Mengen zugegen ist; sehr manganreiche, übrigens aber nicht allzu basische Schlacken, im flüssigen Zustande der Luft ausgesetzt, laufen äusserlich schwarz an und überziehen sich mit einem irisirenden Häutchen.

Ein mässiger Manganoxydulgehalt neben wenig Eisenoxydul ertheilt kieselsäurereicheren und zugleich Thonerde enthaltenden Schlacken (Bi- und Trisilikaten), soweit meine eigene Beobachtung reicht, blaue Farbentöne.[1])

Nicht selten benutzt der Eisenhüttenmann die Farbe der bei diesem oder jenem Verfahren entstehenden Schlacken als Merkmal für dessen Verlauf. Zu wissen, welchen inneren Ursachen die betreffende Farbe entspringt, ist hierbei nicht einmal erforderlich; es genügt, durch die

1) Dass möglicherweise die schöne blaue Farbe mancher Eisenhüttenschlacken (Hochofenschlacken) auch noch anderen Ursachen entstammen könne, soll nicht bestritten werden. Gerade diese Farbe hat schon öfters Veranlassung zu Untersuchungen gegeben, ohne dass vollständige Aufklärung erreicht worden wäre. Häufig hat man die Anwesenheit von Titansäure in den Schlacken als die Ursache der Blaufärbung angesehen. Vergl. hierüber die gegebenen Litteraturnachweise.

Beobachtung festzustellen, dass die Farbe so oder so sein muss, wenn das Verfahren in befriedigender Weise verläuft, und dass Abweichungen von dieser Farbe auf gewisse Störungen hindeuten.

6. Specifisches Gewicht.

Gemäss der verschiedenen chemischen Zusammensetzung der Schlacken bewegt sich ihr specifisches Gewicht innerhalb ziemlich weiter Grenzen. Am schwersten sind die an schweren Oxyden reichsten Schlacken (Eisenoxydschlacken), deren specifisches Gewicht bis 5,0 steigen kann, während die erdigen Schlacken, besonders die an Kieselsäure reicheren (Trisilikate), oft nur ein specifisches Gewicht von 2,5 — 3,0 besitzen.

Litteratur.

A. Einzelne Werke.

Percy-Knapp, Metallurgie, S. 22 — 51 (enthält Mittheilungen über ältere, das Verhalten der Schlacken betreffende Versuche).

K. C. v. Leonhard, Hüttenerzeugnisse und andere auf künstlichem Wege gebildete Mineralien als Stützpunkte geologischer Hypothesen. Stuttgart 1858. (Empfehlenswerthe Schrift über Gefüge, Krystallisation u. s. w.)

P. Berthier, Traité des essais par la voie sèche. Paris 1848.

B. Abhandlungen.

Sefström, Versuche über die Bildung und Eigenschaften der in den Eisenhochofenschlacken vorkommenden Verbindungen und deren Einfluss bei der Roheisenerzeugung. Erdmanns Journal für technische und ökonomische Chemie, Bd. 10 (1831), S. 145; aus Jernkontorets Annaler, Jahrgang 12.

P. Berthier, Ueber das Verhalten einiger Mischungen von Erden und anderen Basen im Feuer, besonders über die künstliche Darstellung einiger Silikate und Aluminate. Erdmanns Journal für praktische Chemie, Bd. 4, S. 457; Bd. 5, S. 273.

C. Fr. Plattner, Ueber die Bestimmung der Schmelzpunkte mehrerer Hüttenprodukte und der Hitzegrade, bei denen sich verschiedene Silikate bilden. Beilage zu dem Werke von F. Th. Merbach: Die Anwendung der erwärmten Luft im Gebiete der Metallurgie. Leipzig 1840.

C. Rammelsberg, Beiträge zur Kenntniss der Hochofenschlacken. Poggendorffs Annalen, Bd. 124, S. 95; Berg- u. hüttenm. Ztg. 1848, S. 477.

C. Bischof, Relative Schmelzbarkeit der Silikate des Eisens, des Kalks, der Magnesia und der Thonerde. Dinglers polyt. Journal, Bd. 165, S. 378.

Th. Erhard und A. Schertel, Die Schmelzpunkte der Prinsepschen Legirungen und deren pyrometrische Verwendung. Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, S. 154. (Enthält Berichtigungen der von Plattner gefundenen Schmelztemperaturen der Schlacken.)

M. J. Fournet, Sur la cristallisation des silicates vitreux et sur la couleur bleue des laitiers. Annales de chimie et de physique, Série 3, tome 4 (1842), p. 370.

E. Mène, Ueber die blaue Färbung der Eisenhochofenschlacken. Dinglers polyt. Journal, Bd. 182, S. 469; aus den Comptes rendus, tome 63, p. 608.

H. Vogelsang, Ueber die mikroskopische Struktur der Schlacken und über die Beziehungen der Mikrostruktur zur Genesis der krystallinischen Gesteine. Poggendorffs Annalen, Bd. 121, S. 101; Berg- und hüttenm. Ztg. 1864, S. 236.

W. Muirhead, Formation of aluminates in the blast furnace slags. Iron, vol. 16, p. 292; Revue universelle 1880, tome 8, p. 594; Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 28, S. 641.

Dr. Kosmann, Ueber die chemische Stellung der Thonerde in Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen" 1892, S. 270.

A. Kerpely, Molekular-Formeln der Schlacken. Berg- und hüttenm. Ztg. 1872, S. 201.

A. Ledebur, Ueber Schlacken und die Bedingungen ihrer chemischen Zusammensetzung. „Stahl und Eisen" 1884, S. 249.

R. Åkerman, Ueber die zum Schmelzen verschiedener Hochofenschlacken erforderliche Wärmemenge. Aus Jernkontorets Annaler 1886 in „Stahl und Eisen" 1886, S. 281, 387.

P. Gredt, Die Bildungstemperatur der Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen" 1889, S. 756.

R. Åkerman, Ueber die Bildungstemperatur der Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen" 1890, S. 424.

G. Hilgenstock, Ueber die Zusammensetzung der Thomasschlacke und ihre Begründung. „Stahl und Eisen" 1886, S. 525.

G. Hilgenstock, Das vierbasische Kalkphosphat und die Basicitätsstufe des Silikats in der Thomasschlacke. „Stahl und Eisen" 1887, S. 557.

A. S. Rossi, Zur Ehrenrettung titanhaltiger Eisenerze. „Stahl und Eisen" 1896, S. 310.

B. Platz, Ueber die Ursache des Zerfallens kalkreicher Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen" 1892, S. 7.

VI. Die Erze nebst Zuschlägen und ihre Vorbereitung für die Verhüttung.

I. Die Erze.

Eisenerze nennt man die in der Natur vorkommenden Verbindungen des Eisens mit anderen Körpern, welche ihres Eisengehalts halber als Rohstoffe für die gewerbliche Darstellung des Eisens benutzt werden.

Gediegenes Eisen findet sich überhaupt nur in seltenen Ausnahmen, die für den Eisenbetrieb keine Wichtigkeit besitzen. So z. B. bestehen die Meteorsteine zum grössten Theil aus metallischem Eisen (neben Kobalt, Nickel und einigen anderen Körpern); auf Disco in Nordgrönland fand Nordenskiöld 1870 grössere Mengen gediegenen Eisens. In der feuchteren Luft der gemässigten Klimate würde solches gediegenes Eisen gar nicht beständig sein, sondern allmählich in Eisenhydroxyd — Rost — umgewandelt werden.

Damit aber die Benutzung eisenhaltiger Gesteine als Eisenerze möglich sei, muss ihr Eisengehalt ein solcher sein, dass ihre Verarbeitung auf Eisen in wirthschaftlicher Beziehung lohnend erscheinen kann, und sie dürfen keine solche fremde Körper enthalten, welche, in das erfolgende Eisen übergehend, dieses unbenutzbar machen würden, ohne dass ihre Abscheidung möglich wäre. Deshalb ist z. B. Arsenkies (FeSAs) kein Eisenerz, denn man ist nicht im Stande, das Arsen in ausreichend billiger Weise so vollständig vom Eisen zu trennen, dass daraus brauchbares Handelseisen entstände.

Die Grenze des Eisengehalts, welche nicht unterschritten werden darf, wenn ein Gestein als Eisenerz gelten soll, ist theils von örtlichen Verhältnissen, theils von der sonstigen Zusammensetzung des Gesteins abhängig. Je niedriger der Preis des Erzes an dem Orte der Verhüttung (also einschliesslich der Frachtkosten) sich stellt, je geringer auch die übrigen Verhüttungskosten (Brennstoffe, Löhne u. a. m.) sind, desto geringer braucht der Eisengehalt zu sein, ohne dass das Gestein seine Eigenschaft als Eisenerz einbüsst. Die fremden Bestandtheile des Gesteins aber bilden, sofern sie nicht flüchtig sind (Kohlensäure, Wasser) bei der Verhüttung die Schlacke, welche ausreichend schmelzbar sein muss, damit die Eisendarstellung überhaupt gelinge. Häufig muss man fremde Gesteine — Zuschläge genannt — den Erzen beim Schmelzen beifügen, um eine Schlacke von der erforderlichen Beschaffenheit zu bilden; in selteneren Fällen ist die Zusammensetzung der Fremdkörper schon eine solche, dass Zuschläge gänzlich entbehrlich sind. Je geringer die Menge der erforderlichen Zuschläge ist, bei desto niedrigerem Eisengehalte kann ein Gestein noch als Eisenerz gelten.

Erze mit einem Eisengehalte von weniger als 30 v. H. ihres Gewichts pflegt man nicht gern zu verhütten; doch finden sich Eisenwerke, welche noch Erze mit 25 v. H. Eisengehalt verwenden. Sind die fremden, dem Eisen beigemengten Gesteinsarten derartig beschaffen, dass durch Vermischung mehrerer Erze eine Schlacke von entsprechender Schmelzbarkeit entsteht, also die Anwendung eigentlicher Zuschläge entbehrlich wird, so kann mitunter auch ein noch geringerer Eisengehalt ausreichend sein, jene Gesteine als „Erze“ gelten zu lassen. Sie bilden alsdann den Uebergang zu den eisenhaltigen Zuschlägen, Gesteinen, welche zwar vornehmlich der Schlackenbildung halber den Erzen zugesetzt werden, doch aber einen gewissen, wenn auch nicht sehr bedeutenden, Eisengehalt (bis etwa 15 v. H.) mitbringen, welcher bei der Verhüttung nutzbar wird.

Neben den eigentlichen Eisenerzen finden nicht selten eisenreiche Nebenerzeugnisse anderer Verfahren zur Eisendarstellung Benutzung. Die wichtigeren dieser Stoffe werden, da sie in gleicher Weise und zu gleichem Zwecke wie die Eisenerze verarbeitet werden, unmittelbar nach diesen eine kurze Besprechung finden.

Sämmtliche Eisenerze im engeren Sinne bestehen aus Oxyden, Hydroxyden oder Carbonaten des Eisens. Natürlich vorkommende Eisensilikate sind theils zu selten, theils zu schwierig reducirbar, um als eigentliche Eisenerze gelten zu können, obgleich sie ausnahmsweise wohl gemeinschaftlich mit anderen Erzen Verhüttung gefunden haben.

Sollen aber manganreiche Eisenlegirungen dargestellt werden, so müssen Manganerze an Stelle der Eisenerze treten oder doch den Eisenerzen zur Anreicherung ihres Mangangehalts zugesetzt werden. Auch diese verdienen daher in Folgendem eine besondere Erwähnung.

A. Die Spatheisensteine (Eisenspathe).

Diese Erzgattung, durch Ablagerung von Eisen, welches in kohlensäurehaltigem Wasser gelöst war, entstanden und eine der ursprünglichen Entstehungsformen aller Erze bildend, würde im reinen und unzersetzten

Zustande aus Eisencarbonat $FeCO_3$ mit 48,2 v. H. Eisen (61,9 v. H. FeO) bestehen; in der Regel jedoch enthält das Erz neben dem Eisencarbonate kleinere oder grössere Mengen von isomorphen Carbonaten des Mangans, Calciums oder Magnesiums, und der gesammte Eisengehalt des Erzes ist daher fast immer niedriger, als obiger Formel entspricht.

Der Spatheisenstein krystallisirt rhomboëdrisch, sein Geflüge ist theils grob-, theils feinkörnig oder derb. Bisweilen erscheint er in trauben- oder nierenförmigen Bildungen und wird dann von den Mineralogen Sphärosiderit (im engeren Sinne) genannt. Die Farbe des frischen, unzersetzten Erzes ist gelblich weiss (Weisserz, unreifer Eisenspath); an der Luft aber und unter dem Einflusse der Feuchtigkeit verwandelt es sich theilweise in Eisenhydroxyd und nimmt dabei allmählich eine dunkle, braune, auch wohl blauschwarze Farbe an (Braunerz, Blauerz, reifer Eisenspath).

Der Spatheisenstein tritt in häufig mächtigen Gängen und Lagern in älteren Formationen bis zum Buntsandstein auf. Unter den deutschen Vorkommnissen sind schon seit Alters her die Spatheisensteine des Siegerlandes berühmt, welche bis zur Jetztzeit einen wichtigen Theil des deutschen Erzbesitzes bilden (Seite 23); auch Thüringer Spatheisensteine, in der Gegend von Saalfeld (Kamsdorf, Könitz) auftretend, sind für das deutsche Eisenhüttengewerbe nicht ohne Bedeutung (Seite 24). Ferner verdienen die in der Gegend von Osnabrück, auf Georgs-Marienhütte verarbeiteten Spathe Erwähnung (Seite 23). Minder wichtig sind kleinere Vorkommnisse im sächsischen Voigtlande und im Harze (Gegend von Stolberg).

Hohe Bedeutung besitzen verschiedene Spatheisenstein-Vorkommnisse Oesterreichs und Ungarns für den dortigen Eisenhüttenbetrieb. Auf Seite 29 und 30 wurden diese Spatheisensteine bereits erwähnt. Von den ungarischen Spatheisensteinen findet ein Theil auch auf oberschlesischen Werken Benutzung.

Einige zwar nicht umfängliche, für die betreffenden Gegenden aber nicht ganz unwichtige Vorkommnisse von Spatheisenstein finden sich in Frankreich und Spanien; ziemlich arm an diesen Erzen sind dagegen Grossbritannien und Nordamerika.

Häufig vorkommende Beimengungen des Spatheisensteins, welche bei seiner Verhüttung Beachtung verdienen, damit sie nicht schädliche Einflüsse auf die Beschaffenheit des daraus erzeugten Roheisens ausüben, sind Kiese, insbesondere Eisenkies und Kupferkies; ferner Bleiglanz, Zinkspath, Galmei; selten dagegen enthält der Spatheisenstein erhebliche Mengen von Phosphaten.

Diese Reinheit von Phosphor erhebt ihn zu einem der wichtigsten Erze für Herstellung phosphorarmen Eisens; die Leichtreducirbarkeit des Erzes, besonders im gerösteten Zustande, erleichtert wesentlich seine Verhüttung, und der selten ganz fehlende Mangangehalt weist auf die Verwendung zur Erzeugung manganhaltiger Eisensorten hin (Weisseisen, Spiegeleisen, Bessemerroheisen). Da nun solche manganhaltige und zugleich phosphorarme Roheisensorten auch schon in früherer Zeit ein geschätztes Material für die Stahldarstellung bildeten, und ein Mangangehalt der Erze neben wenig Phosphor selbst dann als förderlich für diesen Zweck sich erweist, wenn man, wie in alter Zeit, Stahl unmittel-

bar aus ihnen erzeugt, nannte man nicht allein den Spatheisenstein selbst in einzelnen Gegenden Stahlstein, sondern bezeichnete auch seine Fundstätten nicht selten mit demselben Beiworte (Stahlberg bei Müsen im Siegenschen u. a.).

Beispiele der Zusammensetzung verhütteter Spatheisensteine.[1])

	Rohe Spathe								Geröstete Spathe		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Eisen . . .	38,86	34,70	33,70	33,12	26,38	38,93	33,37	33,66	51,80	45,34	40,65
Mangan . .	9,20	6,50	5,10	4,52	1,82	2,15	1,76	1,46	2,84	2,82	2,04
Kieselsäure .	0,22	8,00	1,68	3,57	1,10	8,20	10,55	16,78	11,04	12,33	16,11
Thonerde . .	n. best.	2,10	1,32	0,86	0,00	2,09	3,52	4,30	2,81	1,95	2,58
Kalkerde . .	0,70	0,50	4,51	8,92	15,90	3,06	0,77	Spur	4,12	6,65	0,44
Magnesia . .	0,51	0,50	3,61	2,12	8,47	2,92	5,46	5,56	2,92	1,59	6,03
Baryt . . .	—	—	2,66	2,53	—	—	—	—	—	—	—
Blei . . .	—	—	0,01	n. best.	n. best.	—	—	—	—	—	—
Kupfer . .	0,03	0,10	0,02	n. best.	n. best.	Sp.	0,01	0,05	Sp.	n. best.	0,02
Schwefel . .	0,03	n. best.	n. best.	n. best.	0,40	Sp.	n. best.	n. best.	Sp.	n. best.	Sp.
Phosphor . .	Sp.	—	0,01	n. best.	0,02	0,017	Sp.	n. best.	0,022	0,06	Sp.
Kohlensäure . Wasser . .	n. best.	n. best.	28,81	n. best.	n. best.	27,60	n. best.	n. best.	—	8,75	n. best.

1. Spatheisenstein von Struthütten im Siegenschen; ausgestellt in der Düsseldorfer Ausstellung 1880.
2. Grube Wingertshart bei Niederhövels im Siegenschen; ausgestellt in der Düsseldorfer Ausstellung 1880.
3. Kamsdorfer Spatheisenstein, auf der Maximilianshütte zu Unterwellenborn (Thüringen) verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
4. Spatheisenstein von Könitz in Thüringen (enthält auch 0,30 v. H. Strontian). In Königin-Marienhütte verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
5. Spatheisenstein von Georgs-Marienhütte. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
6. Spatheisenstein vom steirischen Erzberg. F. Kupelwieser in der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins 1893, Nr. 22.
7. Grube Köhlergrund, dem Eisenwerk Krompach im Zipser Komitat (Ungarn) gehörig. Vom Verfasser untersucht.
8. Grube Zahura; übrigens wie 7.
9. Gerösteter Spath vom steirischen Erzberg. Wie 6.
10. Gerösteter Spath von Innerberg in Kärnten. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 1, Seite 123.
11. Gerösteter Spath von Grube Köhlergrund. Wie 7.

B. Die thonigen Sphärosiderite und verwandten Erze.

Unter dieser Benennung kann man eine grössere Zahl von Eisenerzen zusammenfassen, deren Grundbestandtheil, wie bei den Spatheisensteinen, kohlensaures Eisenoxydul ist, welche jedoch fremde, mechanisch beigemengte Körper, insbesondere Thon, in solcher Menge enthalten, dass sie ein dichtes oder ganz feinkörniges Gefüge angenommen haben, welches sich deutlich von dem krystallinischen Gefüge des Spatheisensteins unterscheidet. Häufig ist das kohlensaure Eisenoxydul durch

1) Die Analysen sind in der Form gegeben, wie sie für den Betriebsmann den meisten Werth haben, d. h. Eisen und Mangan sind als Metalle aufgeführt. Dass dieselben vorwiegend als Oxydul auftreten, das Eisenoxydul aber durch Verwitterung theilweise in Oxyd (Hydroxyd) umgewandelt zu sein pflegt, wurde oben erwähnt.

Verwitterung zum grössten Theile in Eisenhydroxyd übergegangen, und die Erze bilden dann Uebergänge zu den Brauneisensteinen.

Die Erze dieser Gruppe sind wegen ihres häufigen Vorkommens in oft mächtigen Lagern eine der wichtigsten Eisenerzgattungen der Erde. Die jährlich in Yorkshire (Cleveland) geförderten thonigen Sphärosiderite, deren Menge mehr als ein Drittel der gesammten Erzförderung Grossbritanniens ausmacht (Seite 21), bilden die Grundlage des dortigen grossartigen Eisenhüttenbetriebes; ähnliche Erze liefern Wales, Staffordshire und Schottland. In Rheinland und Westfalen gab früher das Auftreten von Sphärosideriten und verwandten Erzen Veranlassung zur Begründung wichtiger Eisenwerke, während allerdings der Bedarf der jetzt bestehenden Werke bei weitem nicht mehr durch die dortigen Vorkommnisse gedeckt werden kann; auch Frankreich, Ungarn, Pennsylvanien enthalten Lager dieser Erze.

Wie die Spatheisensteine führen die Sphärosiderite häufig eingesprengte Kiese und Glanze und sind daher blei-, kupfer- und zinkhaltig; stärker als jene aber sind sie, wie erwähnt, mit Thon oder Kohle vermengt, und in sehr vielen Fällen enthalten sie ansehnliche Mengen von Phosphor.

Sie sind, besonders im gerösteten Zustande, leicht reducirbar und werden, je nachdem ihr Gehalt an fremden Körpern die eine oder andere Verwendung thunlicher erscheinen lässt, sowohl für Grau- als Weisseisendarstellung benutzt.

Ihrer Beschaffenheit nach lassen sich die zu dieser Gruppe gehörenden Erze in folgende zwei Gattungen eintheilen:

a) **Gewöhnlicher oder thoniger Sphärosiderit.** Dicht, grau, grünlich oder bräunlich gefärbt; thonhaltig, nicht selten reich an organischer Masse (Kohle). Erscheint in verschiedenen Erdformationen, vorzugsweise in der Kohlenformation, dem Keuper, Jura und der Kreide.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eisen	28,76	36,14	33,20	32,44	25,10	36,16	40,46	28,71	37,30
Magan	0,74	1,12	1,16	0,80	4,70	2,86	1,22	0,42	10,48
Kieselsäure	19,13	10,17	10,22	11,60	10,13	11,50	8,76	13,56	21,92
Thonerde	7,63	4,80	1,14	4,88	4,40	3,64	1,53	6,93	11,84
Kalkerde	2,89	0,76	3,32	2,99	9,72	1,88	2,15	8,03	0,27
Magnesia	2,29	0,94	2,85	3,43	3,65	2,07	0,51	3,52	1,19
Kupfer	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	Spur	n. best.	n. best.	n. best.	0,03
Schwefel	0,10	0,04	0,42	0,08	0,15	0,36	n. best.	0,29	0,04
Phosphor	0,21	0,33	0,48	0,33	0,01	0,30	0,24	0,40	0,68
Kohlensäure	25,41	30,44	28,63	30,07	n. best.	n. best.	28,25	n. best.	} 9,00
Wasser, org. Substanz	2,07	2,52	2,89	2,03	n. best.	n. best.	3,80	n. best.	

1. Aus Yorkshire. Nach Percy. (Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Band, Seite 88 ff.)
2. Aus Südstaffordshire. Uebrigens wie 1.
3. Aus Stanton in Derbyshire. Uebrigens wie 1.
4. Aus Bleanavon in Monmouthshire. Uebrigens wie 1.
5. Thoneisenstein von Euskirchen (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band I, Seite 139).
6. Aus Grube Sperber zu Ruppichteroth (Dürre, a. a. O.).

7. Sphärosiderit von Schmiedewalde bei Meissen. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

8. Thoneisenstein aus Porta in Westfalen. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 266 (Schroedter).

9. Thoniger Sphärosiderit, grösstentheils in Brauneisenerz übergegangen, aus dem Voigtlande. In Königin Marienhütte verhüttet. Vom Verfasser untersucht.

b) **Kohleneisensteine oder Blackbands.** Enthält das im Wesentlichen aus Eisencarbonat bestehende Erz so beträchtliche Mengen von Kohle, dass es schwarz gefärbt ist, so wird es Kohleneisenstein oder (mit der englischen Bezeichnung) Blackband genannt. Sein Kohlegehalt pflegt mindestens 10 v. H. zu betragen, steigt aber mitunter bis auf 25 v. H. Die kohlenreicheren dieser Erze brennen fort, wenn sie entzündet werden, und bilden den Uebergang zu den aschenreicheren Steinkohlen. Im Uebrigen stimmt das Verhalten der Kohleneisensteine mit dem der gewöhnlichen Sphärosiderite überein. Man verarbeitet sie nur im gerösteten Zustande, und hierzu ist um so mehr Veranlassung gegeben, da ihr eigener Kohlenstoffgehalt gewöhnlich ausreichend ist, die zur Durchführung der Röstung nothwendige Wärme zu liefern, ja mitunter noch die Röstung anderer Erze in Vermischung mit ihnen ohne Aufwand fremden Brennstoffs gestattet.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	Roh				Geröstet			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	36,20	34,14	30,30	21,21	52,12	46,70	47,66	47,66
Mangan	1,97	—	n. best.	0,57	1,21	1,42	0,90	1,12
Kieselsäure	1,93	10,19	5,26	4,98	9,64	16,49	13,44	9,75
Thonerde	1,23	2,39	—	1,64	5,75	5,88	4,46	3,26
Kalkerde	2,44	2,10	—	2,87	3,15	3,21	3,69	6,39
Magnesia	1,39	2,47	—	1,27	1,96	4,03	2,65	2,84
Kupfer	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.
Schwefel	0,18	0,09	n. best.	1,06	0,79	0,14	0,90	1,29
Phosphor	0,29	0,50	0,30	0,58	0,49	0,45	0,50	1,57
Kohle	10,46	}	25,76	}	—	}		
Kohlensäure	30,77	32,25	—	58,56	—	21,11	4,05	1,60
Wasser	1,47	}	n. best.	}	3,00	}		

1. Von Shelton Kohlengrube in Staffordshire. Nach Percy. (Wedding, Eisenhüttenkunde, Band 2.)

2. Von Klosterbusch bei Kupferdreh. Auf der Wiener Ausstellung durch Eisenwerk Phönix in Ruhrort ausgestellt (Dürre, Bericht, Seite 90).

3. Aus Westfalen; wird in Friedrich-Wilhelmshütte zu Mülheim a. d. Ruhr verhüttet. In Düsseldorf 1880 ausgestellt.

4. Blackband von Hoerde. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 266 (Schroedter).

5. Gerösteter Blackband aus Westfalen (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 1, Seite 136).

6. Gerösteter Blackband von Klosterbusch bei Kupferdreh (Dürre, Anlagen u. s. w., Seite 136).

7. Gerösteter Blackband aus Westfalen. Auf Friedrich-Wilhelmshütte verhüttet. In Düsseldorf 1880 ausgestellt.

8. Gerösteter Blackband von Zeche Freie Vogel in Westfalen. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 266 (Schroedter).

C. Brauneisenerze.

Seiner chemischen Zusammensetzung nach ist der Brauneisenstein durch einen Gehalt an chemisch gebundenem Wasser, seinem Aussehen

nach durch braune bis schwarze Farbe und braunen Strich gekennzeichnet.

Die chemische Formel des eigentlichen reinen Brauneisensteins würde sein: $H_6F_4O_9$ mit etwa 60 v. H. Eisen und 14,5 v. H. Wasser; doch kennt der Mineraloge eine grössere Anzahl bestimmt ausgebildeter Formen des Brauneisensteins, deren Zusammensetzung von der obigen mehr oder minder abweicht (Göthit u. a.), und die Uebergänge sowohl zu den wasserfreien Eisenoxyden als den oxydul- und kohlensäurehaltigen Spatheisensteinen und Sphärosideriten, aus deren Zersetzung gar häufig der Brauneisenstein unmittelbar hervorging, sind zahlreich. Hieraus erklärt es sich, dass auch der Wassergehalt der Brauneisenerze sich zwischen ziemlich weiten Grenzen bewegt.

Die Brauneisenerze sind sehr verbreitet und finden sich in fast allen Erdformationen. Eben deshalb treten sie uns in ziemlich mannigfaltigen äusseren Formen entgegen. Ausgezeichnet sind fast alle Brauneisenerze durch Leichtreducirbarkeit; ihre fremden Beimengungen aber, welche neben dieser Eigenschaft den Grad ihrer Verwendbarkeit bedingen, sind in den verschiedenen Vorkommnissen sowohl ihrer Menge als ihrer Beschaffenheit nach ziemlich verschieden. Mitunter finden sich Brauneisensteine unmittelbar neben den Spatheisensteinen, aus deren Umwandlung sie hervorgingen, und lassen dann nicht selten das Gefüge des Spatheisensteins noch deutlich erkennen, enthalten auch, wie dieser, nicht unbeträchtliche Mengen Mangan; waren sie durch Zersetzung thoniger Sphärosiderite entstanden, so enthalten sie Thon und gewöhnlich Phosphor in grösserer Menge; manche Brauneisenerze sind reich an zinkischen Beimengungen, welche ihre Verwendung erschweren.

Im Wesentlichen lassen sich folgende Gattungen des Brauneisensteins unterscheiden:

a) **Brauner Glaskopf,** ein durch Reinheit von fremden Körpern ausgezeichnetes Erz von dunkelbrauner bis schwarzer Farbe und krystallinisch fasrigem Gefüge bei oft kugliger oder nierenartiger äusserer Form. Er erscheint vorwiegend in den ältesten Erdformationen, jedoch im Verhältnisse zu den übrigen Erzvorkommnissen zu selten, um eine hervorragende Bedeutung zu besitzen.

b) **Gewöhnlicher Brauneisenstein.** Unter dieser Benennung lassen sich alle solche Brauneisenerze zusammenfassen, welche nicht durch ganz besondere Eigenthümlichkeiten sich vor den übrigen auszeichnen. Einzelne sind, wie der braune Glaskopf, durch grosse Reinheit werthvoll, andere, und zwar vorwiegend die erdigeren und derben Sorten, enthalten Kiese, Glanze, Zinkerze, auch mitunter nicht ganz unbeträchtliche Mengen von phosphorsauren Verbindungen. Besondere Benennungen für einzelne Formen dieser Erze sind Schaleneisenstein oder Eisenniere (in schaligen oder nierenartigen Bildungen vorkommend), dichter Brauneisenstein, mulmiger oder erdiger Brauneisenstein.

Solche Brauneisenerze finden sich in den österreichischen Alpen neben den oben besprochenen Spatheisensteinen, in Thüringen, am Harz, in Spanien, Nordafrika (Algier), Nordamerika (Alabama, Pennsylvanien, Virginien u. a. a. O.); in Oberschlesien bildeten früher die dortigen im Trias vorkommenden mulmigen Brauneisenerze das Hauptmaterial des

Eisenhüttenbetriebs; Brauneisenerze aus der Juraformation finden sich in reichlichen Vorkommnissen in England (Northamptonshire, Lincolnshire u. a. a. O.).

Die Erze aus Spanien, zumal aus der Provinz Viscaya (Bilbao, Sommorostro), haben im Laufe der siebziger Jahre ihres hohen Eisengehalts bei mässigem Mangangehalte und ihrer Reinheit von Phosphor halber eine nicht unbeträchtliche Bedeutung für den Eisenhüttenbetrieb erlangt und werden in grossen Mengen auf deutschen, französischen und englischen Eisenwerken verarbeitet.

Beispiele für die Zusammensetzung von gewöhnlichen Brauneisenerzen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eisen . .	37,84	54,80	50,68	48,58	37,88	42,22	49,12	54,30	36,39	57,11
Mangan .	5,61	0,57	1,90	2,25	0,17	0,26	3,00	0,16	3,50	—
Kieselsäure	3,43	8,80	8,68	13,08	33,38	17,93	9,35	7,10	17,95	3,30
Thonerde .	1,49	1,15	3,21	1,91	0,88	10,28	0,91	3,15	6,22	2,23
Kalkerde .	11,79	0,50	—	—	0,32	1,82	0,15	0,27	0,40	1,53
Magnesia .	0,63	0,02	—	—	—	Sp.	0,11	—	0,27	—
Schwefel .	n. best.	0,04	n. best.	n. best.	0,06	—	0,24	n. best.	n. best.	0,12
Phosphor .	„ „	0,02	0,40	0,33	0,57	0,08	0,09	0,73	0,12	0,09
Wasser .	„ „	10,55	12,14	12,20	7,77	9,38	12,61	n. best.	n. best.	10,77
Zink . .	„ „	—	—	—	—	—	—	„ „	3,15	—
Blei . . .	„ „	—	—	—	—	—	—	„ „	0,07	—
Kupfer . .	„ „	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	„ „	n. best.	n. best.

1. Thüringer Brauneisenerz (enthält ausser den angegebenen Bestandtheilen 0,95 v. H. Baryt und 0,05 v. H. Strontian). Auf Königin-Marienhütte verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
2. Brauneisenerz von Bilbao („Stahl und Eisen“ 1882, Seite 339).
3. Von den Sulzbacher Gruben in Thüringen, auf Maximilianshütte verarbeitet („Stahl und Eisen“ 1882, Seite 35).
4. Von den Crumbacher Gruben. Uebrigens wie 3.
5. Ochriger Brauneisenstein vom Büchenberge am Harz (Preuss. Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1868, Seite 206).
6. Von Grube Tännichen bei Elbingerode am Harz. (Wie Nr. 5.)
7. Ochriger Glaskopf vom Kärntner Erzberge (Verhandl. der k. k. Geologischen Reichsanstalt 1876, Band 26, Seite 49).
8. Erz von Amberg in Baiern. Auf Amberger Hütte verschmolzen. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
9. Mulmiges Erz von Tarnowitz. Vom Verfasser untersucht.
10. Brauner Glaskopf aus dem Gömörer Komitat in Ungarn, in Eisenwerk Betlér verhüttet (A. v. Kerpely, Ungarns Eisensteine, Seite 32).

c) **Bohnerze und oolithische Erze.** Kugelförmige oder körnerförmige, auch wohl nierenförmige Erze, gewöhnlich von Nadelkopf- bis Nussgrösse, entweder in den einzelnen Körnern als loses Gerölle auftretend, häufiger durch eisenschüssigen Thon oder Quarz zu grösseren Massen verbunden. Sie finden sich in der Trias und im Tertiärgebirge in oft mächtigen Ablagerungen. Fast immer enthalten sie Phosphor, oft in beträchtlicher Menge, auch ihr Thonerdegehalt ist nicht selten erheblich; ihre Gewinnungskosten aber pflegen gering zu sein, und aus diesem Grunde verwendet man sie, wo sie vorkommen, nicht ungern für die Eisendarstellung.

Bohnerze finden sich im Breisgau, an einigen Orten Württembergs, am Rande des Harzes (Harzburg, Salzgitter) u. a. a. O. Eine Ge-

winnung in besonders umfänglichem Maasse findet in der Gegend von Peine statt, und die dort gewonnenen Erze werden in den Hochöfen zu Ilsede bei Peine verhüttet. Sie treten in 7—10 m mächtigen Lagern zwischen Hilsthon als Liegendem und, wo sie nicht zu Tage ausgehen und nur von Dammerde bedeckt sind, Kalkmergel als Hangendem auf und bestehen aus Nieren und Kugeln, welche durch kohlensauren Kalk oder Thon unter einander verbunden sind. Zwischen den Brauneisenknollen finden sich Phosphoritknollen vertheilt, theils winzig klein, theils bis zu Faustgrösse, mit einem Phosphorgehalte von 10—12 v. H. Da ihre Trennung von den Erzen nur in beschränktem Maasse zu bewirken ist, besitzen auch die letzteren, wie die unten mitgetheilte Zusammensetzung beweist, einen beträchtlichen Phosphorgehalt.

Auch Frankreich enthält in mehreren Bezirken Bohnerze (Franche Comté, Berry, Champagne).

Jenes feinkörnige Erz, welches erst seit Anfang der sechziger Jahre Beachtung fand und den Namen **Minette** erhielt, kann ebenfalls den oolithischen Erzen zugezählt werden. Das Auftreten dieses Erzes in Lothringen, Luxemburg und dem östlichen Frankreich und seine Bedeutung für den deutschen und französischen Eisenhüttenbetrieb wurde auf Seite 22 und 25 ausführlicher geschildert. Die Minette enthält nicht selten neben dem Eisenhydroxyd noch kohlensaures Eisen (Eisenoxydul), aus dessen Umwandlung sie hervorgegangen ist; ihre Farbe ist, je nachdem sie noch reicher an diesem kohlensauren Eisen ist oder bereits vollständig in Oxydhydrat überging, grünlich grau oder braun, auch wohl schwarz oder röthlich. Sie ist fast immer reich an Phosphor.

Der Minette ähnlich ist ein im Jura (Lias) in verschiedenen Ländern auftretendes, ebenfalls feinkörniges Erz, seinem geologischen Vorkommen halber gewöhnlich **Liaserz** genannt. Es findet sich in Grossbritannien (Cleveland, Lincolnshire), in der Gegend von Hof in Baiern u. a. a. O.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	38,77	46,50	45,25	26,64	39,79	40,90	21,69	42,53
Mangan	0,24	0,61	5,03	3,73	0,48	n. best.	n. best.	0,38
Kieselsäure	8,55	2,68	4,35	4,41	8,70	16,63	14,71	13,90
Thonerde	5,95	6,37	3,54	1,80	6,21	4,95	3,88	10,25
Kalkerde	7,65	2,38	4,69	19,34	6,25	5,59	21,25	0,85
Magnesia	1,26	0,45	—	0,56	1,47	0,49	0,30	0,59
Schwefel	0,24	0,32	n. best.	n. best.	n. best.	0,10	0,05	n. best.
Phosphor	0,79	0,11	1,53	1,13	0,74	1,13	0,48	0,41
Wasser	n. best.	n. best.	11,73	} 27,90	8,20	11,78	9,81	n. best.
Kohlensäure	„ „	„ „	—		5,76	4,25	18,89	—
Vanadinsäure	0,11	„ „	—	—	—	—	—	—
Arsensäure	n. best.	„ „	—	—	—	—	—	—

1. Bohnerz vom Harz. In Mathildenhütte bei Harzburg verhüttet. Vom Verfasser untersucht.

2. Bohnerz von Nattheim in Württemberg. In Wasseralfingen verhüttet. Nach persönlicher Mittheilung.

3. Thoniges Bohnerz von Adenstedt bei Peine, in den Ilseder Hochöfen verhüttet. Vom Verfasser untersucht.

4. Kalkiges Bohnerz von Bülten bei Peine. In Ilsede verhüttet. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 266 (Schroedter).

5. Grünliche Minette von Moyeuvre. Vom Verfasser untersucht.

6. Rothe Minette von Belvaux (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 1, Seite 75).

7. Braune Minette, Grube von der Heydt bei Redingen (Dürre, a. a. O., Seite 79).

8. Liaserz von Hof. In Königin-Marienhütte verhüttet. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

d) **Rasenerze (Wiesenerze).** Ablagerungen von oft beträchtlicher Ausdehnung aus Wasser in sumpfigen Niederungen, jedoch selten in grosser Mächtigkeit. Sie besitzen theils erdige Beschaffenheit, theils kommen sie in festen Stücken vor; erstere pflegen lichtbraune Farbe, letztere dunkelbraune bis schwarzbraune Farbe zu besitzen. Rasenerze finden sich in grosser Verbreitung auf der ganzen norddeutschen Tiefebene von Holland bis nach Russland; auch in Russland selbst in verschiedenen Gegenden, in Canada, Pennsylvanien u. a. a. O. Bedeutung für den Eisenhüttenbetrieb erlangten sie vornehmlich durch ihre billige Gewinnung. Da sie sich dicht unter der Erdoberfläche finden und hier selten eine Mächtigkeit von mehr als 0,5 m erreichen, ja in vielen Fällen in erheblich schwächeren Lagern auftreten, dabei aber eine grosse Fläche zu bedecken pflegen, findet ein eigentlich bergmännischer Abbau dieser Erze gar nicht statt. Sie werden mit Hacke und Spaten ausgegraben, dann wird das abgehobene Erdreich wieder in die Grube gefüllt, und wo in einem Jahre die Arbeiter der Eisenhütte für diese das metallspendende Erz zu Tage förderten, zieht im folgenden Jahre häufig der Landmann mit dem Pfluge seine Furchen, den Boden für die Körnersaat vorzubereiten; ergiebiger aber als in früherer Zeit pflegt seine Ernte auszufallen, nachdem die oft dichte, undurchlässige Erzschicht aus seinem Boden entfernt ist.

Gewöhnlich sind die Rasenerze reich an eingemengten Quarzkörnern, welcher Umstand sie zur Darstellung siliciumreicherer Eisensorten (grauen Roheisens) geeigneter als für siliciumarmes Eisen (Weisseisen) erscheinen lässt; ein kaum jemals fehlender Begleiter ferner ist Vivianit (Eisenphosphat), der dem Erze einen oft recht beträchtlichen und für manche Verwendungen unerwünschten Phosphorgehalt zuführt. Zwischen manchen Rasenerzen finden sich solche Eisenphosphate in Form dichter weisslicher Knollen bis zu Faustgrösse, mitunter knetbar wie Thon, an der Luft aber blau werdend. Durch Auslesen bei und nach der Gewinnung des Erzes lässt sich der Phosphorgehalt des letzteren abmindern. Gering ist der Gehalt der meisten Rasenerze an Mangan. In früherer Zeit wurden manche kleine Holzkohlenhochöfen ausschliesslich mit Rasenerzen betrieben, und man erzeugte daraus ein für die Giesserei gut brauchbares, wenn auch wegen seines Phosphorgehaltes oft ziemlich sprödes Roheisen; zur Deckung des gesteigerten Erzbedarfs der jetzigen Hochöfen pflegen die Rasenerzvorkommnisse nicht mehr auszureichen, aber man benutzt die Rasenerze in den Gegenden, wo sie auftreten, nicht ungern als Zusatz zu anderen Erzen.

Den Rasenerzen ihrer Entstehung nach, den Bohnerzen ihrer Form nach ähnlich sind die **Seeerze,** welche auf dem Boden schwedischer und finnländischer Seen gefunden und auf dortigen Eisenwerken ver-

arbeitet werden. Sie kommen in Körnerform von der Grösse eines Hirsekorns bis einer Nuss vor, haben meistens eine abgeplattete, bohnenartige Form und werden mit Netzen vom Boden heraufgeholt.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	48,12	36,79	47,34	50,28	54,37	35,60	44,25	53,10
Mangan . . .	0,21	Sp.	1,67	—	0,22	1,74	1,74	0,55
Kieselsäure . .	7,22	14,32	11,22	4,65	5,40	25,70	13,60	7,05
Thonerde . . .	0,93	—	1,91	—	—	2,47	1,86	1,76
Kalkerde . . .	Sp.	—	1,56	0,54	—	2,45	0,13	2,95
Magnesia . . .	„	—	0,22	0,08	—		—	0,08
Schwefel . . .	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	—	—	—	0,01
Phosphor . . .	1,01	1,13	0,94	0,47	0,89	0,37	0,07	0,29
Wasser . . .	21,22	19,16	13,16	21,79	17,29	15,70	17,70	10,83

1. Rasenerz von Elsterwerda. Vom Verfasser untersucht.
2. Rasenerz aus Wittenberg. Wie 1.
3. Holländisches Rasenerz, in Friedrich-Wilhelmshütte bei Mülheim a. d. Ruhr verhüttet. Persönliche Mittheilung.
4. Belgisches Rasenerz. Wie 3.
5. Rasenerz von Quebeck (Fr. Kupelwieser, Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten).
6. Rasenerz aus Wolhynien, Kreis Nowogradwolhynsk, vom Verfasser untersucht.
7. Seeerz aus Finnland. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
8. Seeerz aus Småland, von Svanberg untersucht (Karsten, Handbuch der Eisenhüttenkunde, II, 48).

D. Rotheisenerze.

Der chemischen Zusammensetzung nach aus Eisenoxyd Fe_2O_3 bestehend zeichnen sich diese Erze, sofern sie nicht etwa fremde Körper in grösseren Mengen enthalten, den bisher besprochenen Eisensteinsgattungen gegenüber durch hohen Eisengehalt aus, da sie weder Kohlensäure, wie die Spathe und Sphärosiderite, noch Wasser, wie die Brauneisenerze, enthalten. Sie haben rothe bis röthlich schwarze Farbe und rothen Strich.

Der äusseren Form nach unterscheidet man: **Eisenglanz**, rhomboëdrisch krystallisirt, eisenschwarz bis grau von Farbe; **Eisenglimmer** und **Eisenrahm**, als dünnschalige, feinschuppige Abarten des Eisenglanzes zu betrachten; **rothen Glaskopf (fasriges Rotheisenerz)** in nierenförmigen, traubenförmigen, stalaktitischen Formen mit fasrigem Gefüge, der Form nach mit dem braunen Glaskopf übereinstimmend, jedoch roth von Farbe, gewöhnlich fast reines Eisenoxyd; **gewöhnliches erdiges oder dichtes Rotheisenerz** ohne bestimmte Form; **oolithisches Rotheisenerz**, den oolithischen Brauneisensteinen seiner Form nach gleich, u. a.

Der Rotheisenstein tritt in Gängen und Stöcken wie auf Lagern auf; seine mächtigsten Vorkommnisse bilden gleichförmige Einlagerungen zwischen Talk- und Chloritschiefern, Quarziten und Jaspis der azoischen Formationen; dichte Rotheisensteine finden sich vorwiegend zwischen Kalkstein und Diabas. Einige dieser Vorkommnisse sind hochberühmt; so die Rotheisenerze (Eisenglanze) von Elba, welche schon im Alterthume zur Eisendarstellung benutzt wurden; die Rotheisenerze vom

Oberen See in Michigan, Minnesota und Wisconsin (Seite 16); von Cumberland und Nord-Lancashire in England (Seite 19) u. a. m. Deutschlands Rotheisenerze finden sich vorwiegend im Gebiete der Lahn (Seite 23); nicht so bedeutend sind einige Vorkommnisse an der Eifel, in einigen Gegenden Westfalens, im Harze, im Thüringerwalde und im Erzgebirge. Oolithische Rotheisenerze werden in Belgien gewonnen; reich an vorzüglichen Rotheisenerzen ist Spanien, und die dortigen Erze werden neben den schon erwähnten, von dort stammenden Brauneisenerzen auch in Grossbritannien, Belgien, Frankreich und Deutschland mehrfach verhüttet; für den Eisenhüttenbetrieb Russlands haben die bei Krivoi-Rog gewonnenen Rotheisenerze in den letzten zehn Jahren hervorragende Bedeutung gewonnen (Seite 27).

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eisen . . .	68,92	62,91	66,22	62,54	38,64	42,04	27,95	31,38	39,07
Mangan . .	—	Sp.	—	1,93	0,10	0,89	0,13	0,19	5,46
Kieselsäure .	1,53	5,89	2,60	3,80	17,80	23,88	7,19	0,87	28,10
Thonerde .	—	1,39	—	1,71	7,58	9,28	1,12	0,06	2,58
Kalkerde .	—	0,70	0,60	—	8,10	—	21,91	29,95	0,62
Magnesia .	—	0,42	0,30	0,50	6,82	—	0,67	0,35	Sp.
Schwefel .	—	0,05	—	0,02	Sp.	n. best.	n. best.	—	n. best.
Phosphor .	—	0,11	Sp.	0,04	0,19	0,21	0,15	0,09	„ „
Titansäure .	—	—	0,20	—	—	—	—	—	—
Kupfer . .	—	—	—	0,07	Sp.	—	—	—	—
Glühverlust.	—	—	1,60	2,23	9,92	4,04	CO_2, H_2O 23,16	CO_2 23,68	—

1. Glaskopf aus Cumberland. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
2. Festes Rotheisenerz vom Oberen See. Durchschnittsanalyse (Wedding, Das Eisenhüttenwesen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, Seite 14).
3. Nordafrikanisches Erz aus Constantine (Fr. Kupelwieser, Oesterr. Ausstellungsbericht 1879, Seite 10).
4. Nordafrikanisches Erz, sogenanntes Moktaerz (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 1, Seite 45).
5. Nassauisches Rotheisenerz, in Friedrich-Wilhelmshütte früher verhüttet. Persönliche Mittheilung.
6. Nassauisches Rotheisenerz, in Gutehoffnungshütte bei Oberhausen verhüttet (Dürre, Anlage der Eisenhütten, Seite 33).
7. Kalkspathreiches Erz aus Grube Christiane in Westfalen (Dürre, Anlage der Eisenhütten, Seite 34).
8. Harzer Rotheisenstein von Grube Johannes bei Elbingerode. Analysirt im Laboratorium der Berliner Bergakademie (Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1868, Seite 206).
9. Erzgebirgisches Rotheisenerz. Vom Verfasser untersucht.

Das Vorkommen der Rotheisensteine im Ganzen ist nicht so massenhaft als dasjenige der Brauneisenerze; wo sie aber auftreten, bilden sie ein sehr geschätztes Material für die Eisendarstellung. Denn ihr Eisengehalt ist, wie erwähnt, hoch, sofern er nicht durch eingewachsene fremde Körper abgemindert wird, und die reineren Erze (Eisenglanz, Glaskopf) ertragen deshalb auch Verfrachtung auf weitere Strecken als solche Erze, bei welchen die Frachtkosten einem geringeren Eisenausbringen zur Last fallen; der Phosphorgehalt vieler Rotheisenerze ist

gering, und diese eignen sich daher vorzugsweise zur Darstellung reiner, phosphorfreier Eisensorten. Einzelne, übrigens vorzügliche, Erze sind allerdings von Apatit durchzogen und somit phosphorhaltig; auch manche erdige und dichte, besonders die oolithischen, Erze enthalten Phosphor in solchen Mengen, dass die Herstellung phosphorarmen Roheisens daraus nicht möglich sein würde. Immerhin ist der durchschnittliche Phosphorgehalt der Rotheisenerze geringer als derjenige der Brauneisenerze, um so mehr, wenn man nicht den Gehalt an Phosphor in Hunderttheilen des Erzes, sondern das Verhältniss dieses Phosphorgehaltes zu dem Eisengehalte des Erzes für den Vergleich heranzieht. Einem so hohen Phosphorgehalte, wie ihn die jüngeren Brauneisenerze (Bohnerze, Minette, Rasenerze) ziemlich regelmässig besitzen, begegnen wir in den Rotheisenerzen nur in Ausnahmefällen.

Nicht selten dagegen findet sich Schwefelkies; viele Rotheisenerze enthalten eingesprengte grössere oder kleinere Quarzkrystalle und eignen sich dann vorzugsweise zur Darstellung von grauem Roheisen. Der Mangangehalt der Rotheisenerze ist selten erheblich. Erzlager im Kalkstein enthalten häufig nicht unerhebliche Mengen von kohlensaurem Calcium, einzelne Rotheisenerze führen Titansäure.

Die Rotheisenerze, selbst ihre dichten Arten, sind ziemlich leicht reducirbar; doch pflegt man anzunehmen, dass ihre Reducirbarkeit derjenigen der Brauneisenerze nachstehe.

E. Magneteisenerze.

Sie bestehen aus Eisenoxyduloxyd mit verschiedenem Verhältnisse des Oxyduls zum Oxyd, nur bisweilen der Formel Fe_3O_4 entsprechend. Ihre Farbe ist schwarz oder grünlich schwarz, der Strich schwarz; bekannt ist die magnetische Eigenschaft dieses Erzes.

Die Magneteisenerze krystallisiren im regelmässigen Systeme, finden sich aber häufiger in derben körnigen oder dichten Massen; mitunter auch an den Küsten als Magneteisensand. In Lagern, Flötzen und Stöcken kommt das Erz zwischen den Gesteinen der Gneis- und Glimmerschieferreihen vor, nicht selten in der unmittelbaren Nähe von Rotheisenerzen. Obgleich durchschnittlich die Magneteisenerze seltener als die bisher besprochenen Erze, auch als die Rotheisenerze, auftreten, besitzen doch einzelne dieser Vorkommnisse durch ihre Mächtigkeit hohe Bedeutung und sind weit berühmt. Besonders reiche Erzlagerstätten finden sich in Skandinavien (Seite 32) und am Ural (Seite 27); nicht unbedeutend sind ferner einzelne Vorkommnisse in den Vereinigten Staaten Nordamerikas (Pennsylvanien, New York, New Jersey), in Ungarn, sowie im Sächsischen Erzgebirge; auch am Harze, in Thüringen, in Schlesien werden Magneteisenerze gewonnen, obschon in geringeren Mengen. Nordafrika liefert neben Roth- und Brauneisenerzen auch vortreffliche Magneteisenerze; auch in Corsika und Sardinien werden Magneteisenerze gewonnen. Arm an diesen Erzen dagegen ist Grossbritannien.

Unter allen Erzen besitzt das reine Magneteisenerz seiner chemischen Zusammensetzung gemäss den höchsten Eisengehalt. Beachtenswerth ist allerdings, dass annähernd reine Erze seltener unter den Magnet-

eisenerzen als unter den Rotheisenerzen vorkommen; daher wird der Eisengehalt, wie ihn manche der letzteren besitzen, nur selten von den Magneteisenerzen überboten. Auf deutschen Eisenwerken benutzt man ziemlich häufig schwedische Magneteisenerze als Zusatz zu eigenen eisenarmen Erzen zur Anreicherung des Eisengehalts der Beschickung. Der Phosphorgehalt der Magneteisenerze ist in zahlreichen Fällen sehr gering, obschon einzelne eingewachsene Apatite enthalten. Solches phosphorarmes Magneteisenerz ist ein für Darstellung phosphorarmen Eisens gesuchtes Material, und das schwedische, seiner vortrefflichen Eigenschaften halber berühmte Eisen, welches zum grossen Theil aus Magneteisenerzen erblasen wird, verdankt jenen guten Ruf zumeist seiner Reinheit von Phosphor. Einzelne Erze sind mit Quarz durchwachsen; andere enthalten Kalkspath in ansehnlichen Mengen. Nicht selten findet sich ein grösserer Gehalt an Schwefel-, Kupfer- oder Arsenkies; sonstige nicht seltene Begleiter des Magneteisenerzes sind Hornblende, Chlorit, Granat, Zinkblende, Bleiglanz. Eigenthümlich für manche, insbesondere skandinavische und nordamerikanische Erze ist ein Gehalt an Titansäure, welcher häufiger und in grösseren Mengen als in Rotheisensteinen auftritt, mitunter bis zu 10 v. H. steigt. Dass man früher diesem Titansäuregehalte einen nachtheiligen Einfluss auf die Schmelzbarkeit der bei der Verhüttung erfolgenden Schlacken zuschrieb, diese Meinung aber durch neuere Versuche widerlegt wurde, ist auf Seite 197 erwähnt worden.

Den erwähnten vortrefflichen Eigenschaften der Magneteisenerze steht als eine seine Verwendung erschwerende Eigenschaft seine Schwerreducirbarkeit gegenüber. Unter allen bisher besprochenen Erzen ist der Magneteisenstein am schwierigsten reducirbar. Durch oxydirende Röstung, welche das Eisenoxyduloxyd in Eisenoxyd überführt, wird das Erz aufgelockert und deshalb leichter reducirbar; daher werden die Magneteisenerze häufig im gerösteten Zustande verarbeitet.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	64,47	59,51	44,26	63,73	55,67	45,34	48,35	52,96
Mangan	0,30	0,12	5,76	0,26	0,16	0,11	0,10	—
Kieselsäure	2,78	12,44	1,75	6,48	9,70	32,66	30,05	9,80
Thonerde	1,36	0,33	0,20	1,35	2,25	0,13	1,70	9,48
Kalkerde	2,85	1,08	3,80	0,75	5,79	0,48	0,65	1,46
Magnesia	1,02	0,51	7.53	2,14	1,38	0,28	—	0,72
Schwefel	0,00	0,02	n. best.	n. best.	0,27	—	0.01	0,06
Phosphor	0,95	0,18	Sp.	0,02	0,02	0,13	0,04	0,23
Titansäure	—	—	—	—	—	—	—	4,40
Kohlensäure, Wasser .	—	—	18,72	—	—	2,73	—	—

1. Phosphorreiches Magneteisenerz von Grängesberg in Schweden, auf westfälischen Eisenwerken verhüttet. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 233 (Tiemann).

2. Von der Danielgrube in Grängesberg. Jerncontorets Annaler 1875, Seite 356 (Lundström).

3. Magneteisenerz von Norberg in Schweden. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

4. Magneteisenerz von Taberg in Schweden. Wie 3.

5. Magneteisenerz von Berggiesshübel bei Pirna. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

6. Von Grube Röddecker bei Elbingerode am Harz. Im Laboratorium der Berliner Bergakademie untersucht (Dürre, Anlage u. s. w., Seite 15).

7. Vom Lake Champlain (Wedding, Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten von Nordamerika, Seite 5).

8. Aus New Jersey (Wedding, a. a. O., Seite 6).

F. Eisenreiche, zur Eisendarstellung verwendete Nebenerzeugnisse anderer Verfahren.

Hierher gehören zunächst **eisenreiche Schlacken**, bei der Darstellung schmiedbaren Eisens entstanden und in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde ausführlicher besprochen, welche ihres Eisengehalts halber wieder für die Verhüttung herangezogen werden. Vornehmlich kommen Puddel- und Schweissofenschlacken zur Verwendung; in Gegenden, wo noch Frischfeuerbetrieb besteht, sind die hierbei erfolgenden Schlacken nicht minder gut als jene benutzbar. Auch Schlackenhalden aus früheren Jahrhunderten, theils Frischfeuerschlacken, theils Rennfeuerschlacken[1]) enthaltend, werden hier und da noch aufgegraben, um durch Wiederverhüttung nutzbar gemacht zu werden.

Alle diese Schlacken pflegen mindestens 50 v. H. Eisen zu enthalten (Beispiele der Zusammensetzung sind bei der Besprechung der betreffenden Verfahren in der dritten Abtheilung gegeben). Puddelschlacken sind häufig reich an Phosphor (2 bis 4, ausnahmsweise bis 7 v. H.) und deshalb besonders gesucht, wenn es sich um Darstellung phosphorreichen Roheisens (Thomasroheisens) handelt und ausreichend phosphorreiche Erze nicht zur Verfügung stehen; phosphorärmer sind Schweissofenschlacken und die meisten Frischfeuerschlacken. Erschwert wird die Verhüttung der Schlacken durch ihre Schwerreducirbarkeit; sie bestehen aus Eisensilikaten, deren Eisengehalt schwieriger den reducirenden Einwirkungen des Verhüttungsverfahrens zugänglich ist, als der Eisengehalt der meisten Erze. Auch eine Röstung, durch welche manche Erze (Spathe, Sphärosiderite, Magneteisenerze) leichter reducirbar werden, wie schon erwähnt wurde, hat bei den Schlacken wenig Erfolg.

Nicht minder wichtig als diese Schlacken sind für den Eisenhüttenbetrieb der Jetztzeit die Rückstände geworden, welche bei der Schwefelsäuredarstellung aus Schwefelkiesen hinterbleiben und **Kiesabbrände** oder auch **Purpurerze** genannt werden. Sie sind sehr reich an Eisen (meistens 60 bis 65 v. H.) und daher besonders als Zusatz zu armen Erzen werthvoll; ihr Phosphorgehalt beträgt selten mehr als 0,01 v. H., wodurch sie vor allem für die Darstellung phosphorarmen Roheisens (z. B. Bessemerroheisens) geeignet erscheinen.

Ohne Weiteres würden allerdings diese Abbrände in dem Zustande, in welchem sie die Röstöfen der Schwefelsäurefabriken verlassen, für die Eisendarstellung gewöhnlich nicht brauchbar sein. Sie enthalten noch reichliche Mengen von Schwefel (mitunter über 6 v. H.) und Zink (bis 12 v. H.), welche die Verhüttung wesentlich erschweren, wenn nicht unmöglich machen würden; daneben andere Bestandtheile (Kupfer, Silber, Nickel), deren Gewinnung von Nutzen sein kann. Man unter-

1) Rennfeuer sind die zur Darstellung von schmiedbarem Eisen unmittelbar aus Erzen benutzten, jetzt fast gänzlich verschwundenen Feuer.

zieht also die gerösteten Kiese entweder auf der Fabrik selbst oder auch auf dem Eisenwerke, welches sie zu verhütten beabsichtigt, einem Vorbereitungsverfahren durch Mahlen, Mischen mit Kochsalz, Rösten und Auslaugen, wobei Schwefel entfernt wird, Kupfer, Zink, Silber, Nickel in Lösung gehen. Aus der Lauge werden Kupfer, Silber, kleine Mengen Gold, mitunter auch Nickel und Kobalt durch Verfahren abgeschieden, deren Beschreibung in das Gebiet der weiteren Metallhüttenkunde gehört; die gereinigten Abbrände aber werden dem Eisenwerke überwiesen. Ihr Eisengehalt ist jetzt zum grössten Theile in Eisenoxyd (Fe_2O_3) umgewandelt.

Der Blei-, Arsen- und Antimongehalt bleibt seiner grössten Menge nach in den ausgelaugten Kiesabbränden zurück und kann, wenn er beträchtlich ist, deren Werth als Verhüttungsmaterial beeinträchtigen.[1]) Die Abbrände aber sind, da sie vor dem chlorirenden Rösten gemahlen wurden, kleinmulmig, wodurch ihre Verarbeitung erschwert und es unmöglich gemacht wird, sehr beträchtliche Mengen den Erzen zuzusetzen. Mehrfach hat man versucht, den Uebelstand zu beseitigen, indem man sie durch Pressen zu Ziegeln formte, bisweilen unter Zusatz eines Bindemittels (Melasse, Hochofengichtstaub), ohne dass jedoch das Verfahren allgemein geworden wäre.[2])

Beispiele der Zusammensetzung ausgelaugter Kiesabbrände.

	1	2	3	4
Eisen	65,80	63,62	64,94	45,81
Mangan	Spur	0,04	0,02	0,23
Kieselsäure	1,66	4,67	2,77	7,77
Thonerde	n. best.	1,82	0,26	1,30
Kalkerde	0,10	0,46	0,41	1,14
Magnesia	Sp.	0,12	0,07	0,48
Kupfer	0,02	0,04	0,12	0,05
Blei	0,14	0,45	1,07	0,83
Zink	0,03	0,24	0,25	10,59
Arsen	0,00	0,05	0,03	0,01
Antimon	0,02	0,06	0,04	0,01
Schwefel	0,67	0,55	0,47	6,40
Phosphor	0,01	0,01	0,01	0,01

1. Auf einem rheinischen Eisenwerke verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
2. Auf einem oberschlesischen Eisenwerke verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
3. Wie 2.
4. Schlecht geröstete und ausgelaugte Kiese. Von einem westfälischen Eisenwerke angekauft, aber wegen des hohen Zink- und Schwefelgehalts nicht verarbeitet. Vom Verfasser untersucht.

G. Manganerze.

Reine **Manganspathe** ($MnCO_3$) und **Manganite** ($H_2Mn_2O_4$) eignen sich zwar, zumal im gerösteten Zustande, vortrefflich zur Darstellung von manganreichen Eisensorten, sind aber verhältnissmässig selten. In grösseren Mengen finden sich **Braunsteine**, im reinen Zustande aus

1) „Stahl und Eisen" 1884, Seite 639.

2) Ueber ein derartiges Verfahren in Georgs-Marienhütte: H. Müller, Der Georgs-Marien- Bergwerks- und Hüttenverein, Osnabrück 1896, 2. Theil, Seite 46. Man erzeugte dort im Jahre 1894 20000 t Erzziegeln.

MnO_2 bestehend (Pyrolusit) und **Waderze**, welche Mangansuperoxyd, Manganoxydul und Wasser enthalten, theils verhältnissmässig rein, theils mit Kiesel, Kalkspath, Eisenoxyd vermengt. Für die Verwendung zur Darstellung manganreicher Eisenlegirungen sind diejenigen die werthvollsten, deren Kieselsäuregehalt niedrig ist; auch ein grösserer Eisengehalt ist aus nahe liegenden Gründen nicht erwünscht. Noch weniger zulässig ist ein hoher Phosphorgehalt, welcher bei der Verhüttung in das Metall übergehen und dessen Benutzbarkeit verringern würde.

Fundstätten dieser Erze sind Nassau, Ungarn, Spanien (Huelva), der Kaukasus, Canada, Chile, Java u. a.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6
Mangan	52,78	44,74	55,03	51,98	51,63	36,87
Eisen	1,89	5,02	1,40	14,24	13,72	11,63
Kieselsäure . . .	6,20	13,95	8,30	2,15	0,87	15,15
Thonerde . . .	1,40	n. best.	n. best.	2,50	0,69	n. best.
Kalkerde	3,40	n. best.	n. best.	0,30	1,52	n. best.
Schwefel	—	n. best.	—	0,02	—	—
Phosphor . . .	0,15	0,10	0,01	0,12	—	0,14

1. Pyrolusit von Huelva. Wird auf französischen und deutschen Eisenwerken verarbeitet (Kerpely, „Eisen und Stahl" auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878, Seite 75).

2. Wie 1 („Stahl und Eisen" 1896, Seite 268).

3. Canadisches Manganerz. Wie 2.

4. Ungarisches Manganerz, auf Schmelzwerk Oláhpatak verarbeitet (Kerpely, Ungarns Eisensteine, Seite 42).

5. Ungarisches Manganerz aus dem Eisenburger Komitat (Kerpely, Ungarns Eisensteine, Seite 42).

6. Nassauisches Manganerz (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 1, Seite 196).

2. Die Zuschläge.

Der schon erwähnte Zweck der Zuschläge ist, bei Verhüttung von Erzen die ihnen beigemengten sogenannten „Gangarten", d. h. fremden Gesteine, in solcher Weise zu verschlacken, dass die Schmelztemperatur und chemische Beschaffenheit der Schlacke den Erfordernissen des Schmelzverfahrens entspricht, mitunter auch, obschon in nur seltenen Fällen, die Menge der überhaupt entstehenden Schlacke, welche verschiedene Aufgaben beim Schmelzen des Eisens zu erfüllen hat, anzureichern. Auch bei der Verarbeitung von Roheisen werden nicht selten Zuschläge gegeben, um Schlacken von derjenigen Zusammensetzung zu bilden, welche durch die Eigenthümlichkeiten des Verfahrens bedingt ist (Kupolofenschmelzen, Thomasverfahren u. a.).

Hieraus folgt, dass die Wahl der Zuschläge nicht nur von der Art des Schmelzverfahrens, sondern bei der Erzverhüttung auch vornehmlich von der Zusammensetzung der zur Verwendung stehenden Eisenerze abhängig sein muss.

a) Basische Zuschläge.

Wenn bei irgend einem Schmelzverfahren die schlackenbildenden Körper mehr Kieselsäure oder Thonerde enthalten, als zur Bildung einer

Schlacke von entsprechender Schmelzbarkeit zulässig ist, oder wenn aus irgend einem Grunde stärker basische Schlacken gebildet werden müssen, als durch das Zusammenschmelzen der anwesenden schlackenbildenden Körper zu erreichen ist, müssen basische Zuschläge gegeben werden. Dieser Fall ist unter allen, wo man überhaupt Zuschläge giebt, bei weitem am häufigsten. Die meisten für die Verhüttung im Hochofen bestimmten Erze sind reicher an Kieselsäure, oder an Kieselsäure und Thonerde, als zur Erzielung eines erfolgreichen Schmelzens zulässig ist; wird Roheisen umgeschmolzen (Kupolofenschmelzen), so pflegen basische Zuschläge erforderlich zu sein, um den anhaftenden Sand und, wenn man Koks als Brennstoffe benutzt, deren Asche zu verschlacken; soll aus phosphorreichem Roheisen phosphorarmes Flusseisen erzeugt werden, so sind wiederum basische Zuschläge erforderlich, um die Verbrennung und Verschlackung des Phosphors zu ermöglichen (Seite 41).

Als Base pflegt man in diesen Fällen Kalk zu benutzen; mitunter daneben Magnesia. Dass ein mässiger Magnesiagehalt die Schmelztemperatur reiner Kalksilikate zu erniedrigen vermöge, wurde auf Seite 194 erläutert. Man verwendet demnach als Zuschläge **Kalkstein** oder **Dolomit.** Die weite Verbreitung dieser Gesteine auf der Erde, welche in den meisten Gegenden die Möglichkeit für billige Beschaffung grösserer Mengen gewährt, bildet eine nicht unwichtige Unterstützung des Eisenhüttenbetriebes. Wenn man erwägt, dass manchen Erzen mehr Kalkstein als 40 v. H. ihres Eigengewichts zugeschlagen werden muss, wird man ermessen können, dass für die Darstellungskosten des Eisens auch der Preis jenes Zuschlags von Wichtigkeit ist.

Der Kalkstein (Calciumcarbonat $CaCO_3$) enthält im reinen Zustande 56 Gewichtstheile Kalkerde und 44 Gewichtstheile Kohlensäure, so dass man, um 100 Theile Kalkerde in die Schlacke zu führen, 178,6 Gewichtstheile des Carbonats verwenden muss. Da der Kalkzuschlag, wie erwähnt, vorzugsweise zur Verschlackung der Kieselsäure, oder, richtiger, zur Herstellung eines bestimmten Verhältnisses zwischen Kieselsäure und Basen dienen soll, verliert der Kalkstein um so mehr Werth als Zuschlagsmaterial, je reicher er selbst an Kieselsäure ist; denn nicht allein wird unmittelbar der Gehalt seines nutzbaren Bestandtheils dadurch abgemindert, sondern die von dem Kalkstein zugeführte Kieselsäure bindet auch wieder eine entsprechende Menge seines eigenen Kalkgehalts und entzieht diese dadurch ihrer Bestimmung.

Versteinerungsreiche Kalksteine enthalten mitunter Phosphorsäure in grösseren Mengen und sind deshalb, wenn phosphorreine Eisensorten dargestellt werden sollen, nur mit Vorsicht zu verwenden; andere enthalten Schwefel- und Kupferkies, Bleiglanz, Galmei, Gips. Einige sind reich an Eisen und bilden, sofern ihre sonstige Zusammensetzung nicht ihre Verwendung für Eisendarstellung ausschliesst, die schon früher erwähnten Uebergänge zu den Eisenerzen.

Am werthvollsten für die Zwecke des Eisenhüttenmannes pflegt der krystallinisch körnige Kalkstein (Marmor) zu sein, weil er durchschnittlich den grössten Gehalt an Kalk, den geringsten an schädlichen Bestandtheilen besitzt. Wo dieser nicht zu einem ausreichend billigen Preise zu erhalten ist, pflegt man einen möglichst reinen dichten Kalkstein als Zuschlag zu verwenden, der aber mitunter durch ein-

geschlossene Reste von Thieren phosphorhaltig, auch nicht selten durch Thon oder Sand verunreinigt ist. Auch oolitischer Kalkstein, welcher jedoch ebenfalls phosphorhaltig zu sein pflegt, wird an verschiedenen Orten als Zuschlag benutzt.

Dolomit ist Calcium-Magnesiumcarbonat mit verschiedenem Verhältnisse des Calciums zum Magnesium, durchschnittlich etwa 60 Theile Calciumcarbonat neben 40 Theilen Magnesiumcarbonat enthaltend. Er tritt theils körnig, theils dicht auf; einige Dolomite enthalten als nachtheilige Beimengung grössere Mengen von Kieselsäure; auch Zinkblende, Arsenkies, Schwefelkies finden sich bisweilen.

Beispiele der Zusammensetzung der Zuschlags-Kalksteine u. -Dolomite.

	1	2	3	4	5	6	7
Kalkerde . .	51,85	52,58	52,33	33,21	26,65	29,06	33,64
Magnesia . .	—	1,58	1,86	16,00	16,48	11,34	0,70
Eisen . . .	Sp.	0,51	—	0,77	3,42	0,26	16,32
Mangan . . .	Sp.	—	—	—	Sp.	—	2,82
Thonerde . .	—	0,12	0,75	4,70	Sp.	0,71	0,63
Kieselsäure . .	2,10	1,17	2,10	2,40	11,00	1,54	1,92
Phosphor . .	—	—	0,01	n. best.	—	—	—
Schwefel . .	Sp.	Sp.	0,11	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.
Kohlensäure .	40,75	43,06	42,89	n. best.	41,17	n. best.	n. best.

1. Krystallinischer Kalkstein von Meissen. Auf sächsischen Werken als Zuschlag benutzt. Vom Verfasser untersucht.

2. Ungarischer krystallinischer Kalkstein. Auf Eisenwerk Krompach verwendet. Vom Verfasser untersucht.

3. Kalkstein von Limburg a. d. Lenne, in Dortmunder Union verarbeitet (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 1, Seite 189).

4. Dolomitischer Zuschlagskalkstein aus der Eifel, in Eisenwerk Jünkerath verhüttet (Dürre, Anlage der Eisenhütten, Seite 191).

5. Dolomitischer Zuschlagskalkstein von Ostrau in Sachsen. Auf sächsischen Werken als Zuschlag benutzt. Vom Verfasser untersucht.

6. Dolomitischer Kalkstein von Crimmitschau. In Königin-Marienhütte als Zuschlag benutzt. Vom Verfasser untersucht.

7. Eisenschüssiger Kalkstein aus Thüringen. Enthält auch 1,15 Hunderttheile Baryt. Uebrigens wie 6.

Wenn stark kalkreiche und trotzdem nicht allzu strengflüssige Schlacken gebildet werden sollen, schlägt man neben den Kalkstein oder Dolomit mitunter **Flussspath** zu. Auf Seite 198 wurde der Eigenschaft des Flussspaths, leichtflüssige Schlacken zu bilden, Erwähnung gethan. Für den regelmässigen Gebrauch aber würde er wegen seines hohen Preises und wegen der starken Abnutzung der Ofenwände durch flussspathhaltige Schlacken nicht geeignet sein.

Einige Erze, insbesondere Spatheisensteine, führen übrigens schon als natürliche Beimengung Flussspath in die Schlacke und besitzen aus diesem Grunde die Eigenschaft, leicht schmelzbare, dünnflüssige Schlacken zu liefern.

b) Kieselsäurehaltige Zuschläge.

In den seltenen Fällen, wo der Basengehalt eines zu verschmelzenden Erzes oder Erzgemisches zu beträchtlich ist, um Schlacken von erforderlicher Schmelzbarkeit zu liefern, schlägt man Gesteine zu, welche

Kieselsäure, daneben auch häufig Thonerde zuführen, sofern es an letzterer fehlt. Die Wahl dieser Gesteine hängt zum Theil von örtlichen Verhältnissen, d. h. von ihrem Vorkommen in der betreffenden Gegend, ab. Bisweilen benutzt man Thonschiefer, in noch selteneren Fällen Gabbro, Diabas, Granit. Als Durchschnittsziffern der chemischen Zusammensetzung dieser Gesteine kann man folgende annehmen:

	Kieselsäure	Thonerde	Eisenoxydul u. -Oxyd	Magnesia, Kalkerde	Alkalien, Wasser, Kohlensäure
Thonschiefer	60	19	8	3	10
Gabbro . .	50	15	15	10	10
Diabas . .	50	16	13	10	11
Granit . .	72	16	2	2	8

Bei anderen Verfahren, als der Erzverhüttung, kommen solche kieselsäurehaltigen Zuschläge nicht in grösseren Mengen zur Verwendung; ein geringer Bedarf (z. B. beim Schweissen des Eisens) wird durch gewöhnlichen Sand gedeckt. Auch wo man kalkreiche Erze verhüttet, ist fast immer die Gelegenheit vorhanden, sie mit kieselsäurereichen Erzen in geeigneten Gewichtsverhältnissen zu mischen und solcherart die Anwendung besonderer kieselsäurehaltiger Zuschläge entbehrlich zu machen.

3. Die Vorbereitungsarbeiten. [1])

A. Die Zerkleinerung.

Für die Verhüttung der Erze und Zuschläge ist es wünschenswerth, dass sie eine bestimmte, von der Art des Schmelzverfahrens und insbesondere von der Höhe des Schmelzofens abhängige Korngrösse besitzen.

Je kleiner die einzelnen Stücke sind, desto grösser ist das Verhältniss ihrer Oberfläche zu ihrem Rauminhalte, desto günstiger gestaltet sich mithin die Wärmeabgabe, desto zugänglicher sind sie den reducirenden Einflüssen. Andrerseits finden bei der am häufigsten vorkommenden Verhüttung der Erze in einem Schachtofen (Hochofen) die Gase, welche zwischen den einzelnen Stücken der Erze, Zuschläge und festen Brennstoffe hindurch ihren Weg nehmen müssen, um so grössere Widerstände, je dichter jene auf einander liegen, d. h. je feinstückiger sie sind. Selbst wenn man durch grössere Windspannung den grösseren Widerstand überwinden und die Gase durch die Erzsäule hindurchtreiben wollte, so wächst doch mit jenem Widerstande auch die Ungleichmässigkeit in der Bewegung der Gase, und auch aus diesem Grunde würde eine zu weit gehende Zerkleinerung der Erz- und Zuschlagsstücke nicht thunlich sein. Die zweckmässigste Stückgrösse der Erze ist daher durch die Höhe des Schmelzofens bedingt und muss mit dieser zunehmen. In den niedrigen, zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen noch hier und da benutzten Feuern können Erze von nicht mehr als Erbsen- oder

1) Die mechanischen Vorbereitungsarbeiten, deren Besprechung in das Gebiet der Aufbereitungslehre gehört, konnten hier nur in aller Kürze geschildert werden. Ausführlicheres hierüber findet der Leser in den unter Litteratur genannten Werken über Aufbereitung der Erze.

Bohnengrösse am vortheilhaftesten sich erweisen; in niedrigen Holzkohlenhochöfen pflegt man Wallnussgrösse als die geeignetste zu betrachten; in den grösseren Kokshochöfen dagegen sind Stücke von Faustgrösse und darüber geeigneter als feinstückigere.

Nicht selten werden die Erze schon von der Natur in einem feinstückigeren Zustande geliefert als wünschenswerth ist, und man hat zahlreiche, aber nur in vereinzelten Fällen von befriedigendem Erfolge gekrönte Versuche gemacht, solche feinstückigen Erze durch Zusatz eines Bindemittels und durch Pressen in eine für das Schmelzen besser geeignete Form zu bringen; auch für die feinkörnigen Kiesabbrände ist das gleiche Verfahren in Anwendung gekommen (Seite 219). Wo aber die Erze oder Zuschläge in einem allzu grossstückigen Zustande angeliefert werden, ist eine der Verhüttung vorausgehende Zerkleinerung nothwendig oder wenigstens zweckmässig; man benutzt hierfür Zerkleinerungsmaschinen, deren Hauptformen nachstehend kurz geschildert sind.

a) Pochwerke.

Drei oder mehr Stempel, in Führungen senkrecht beweglich, werden abwechselnd durch Daumen gehoben, um auf die unter ihnen befindlichen Erzstücke niederzufallen und sie zu zerkleinern.

Die Pochwerke bilden die älteste,[1]) aber auch zur Zerkleinerung von Eisenerzen, welche nur bis zu einer bestimmten, nicht allzu kleinen Korngrösse zerkleinert werden dürfen, die am wenigsten vollkommene Vorrichtung. Sie sind deshalb auf Eisenwerken nur noch selten in Anwendung. Während man andere Erze (Bleierze u. a.), welche stärker zerkleint werden, nass, d. h. unter Zufluss von Wasser zu pochen pflegt, um Verstäubung zu vermeiden, werden die Eisenerze, bei deren Zerkleinerung überhaupt kein Staub gebildet werden soll, nur trocken gepocht.

Einen Nachtheil der Pochwerke bildet der Umstand, dass die Fallhöhe und demnach auch die Schlagwirkung um so geringer ausfällt, je dicker das unter dem Pochstempel befindliche Erzstück ist. Gerade die grösseren Stücke, welche kräftigere Schläge ertragen würden, ohne zu Mehl zerstampft zu werden, erhalten schwächere Schläge, die kleineren stärkere. Aus diesem Grunde ist es schwierig, Ungleichförmigkeiten in der Korngrösse des zerkleinten Erzes ganz zu vermeiden. Die Ausnutzung der mechanischen Arbeit ist ausserdem ziemlich ungünstig; man rechnet, dass ein Pochwerk für je 1 Pferdestärke der Betriebsmaschine in 12stündiger Arbeit 3000 bis 3500 kg Erz zu zerkleinern im Stande sei, weniger, als die nachfolgend beschriebenen neueren Zerkleinerungsmaschinen.

b) Walzwerke.

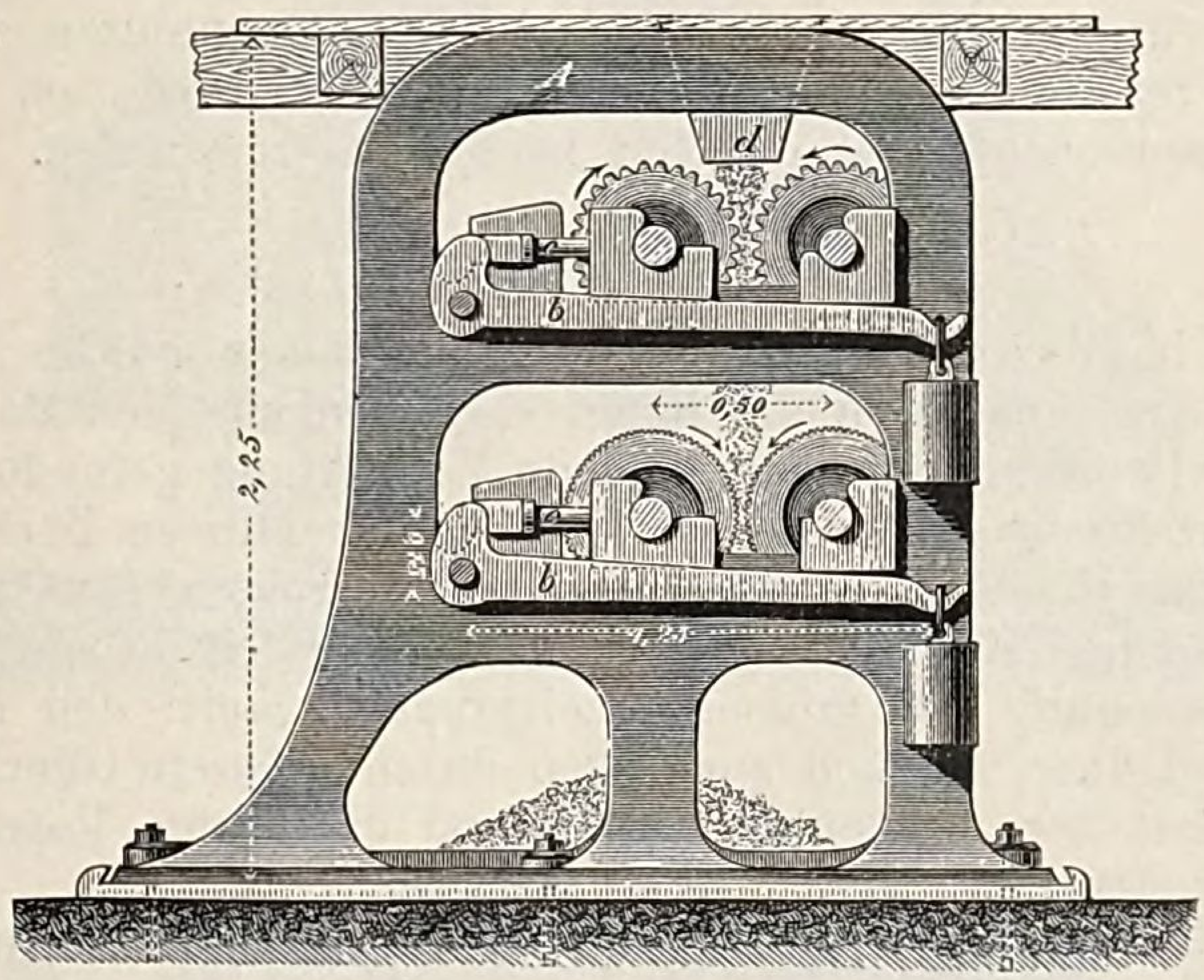
Zwei gusseiserne, wagerecht liegende Walzen mit glatten oder geriffelten Oberflächen, welche parallel neben einander in einem ent-

1) Sie stammen aus dem fünfzehnten oder sechzehnten Jahrhunderte. Nach A. Gurlt (Bergbau und Hüttenkunde, 2. Auflage, Seite 104) wurde 1507 das erste Pochwerk im Erzgebirge durch Sigismund von Maltitz, 1524 das erste Pochwerk auf dem Harze durch Peter Philipp gebaut.

sprechend eingerichteten Gerüste gelagert sind, werden durch Getriebe, deren Wellen durch einfache Kupplungen mit den verlängerten Walzenzapfen verbunden sind, in entgegengesetzte Drehung versetzt, so dass die zu zerkleinernden Erze, welche von oben her auf die Walzen geschüttet werden, vermöge der Reibung zwischen ihnen hindurch geführt und dabei auf die dem Abstande der Walzenoberflächen von einander entsprechende Korngrösse zerkleinert werden.

Die Anwendung geriffelter Walzen erleichtert hierbei die Mitnahme der aufgeschütteten Erzstücke; je stärker aber bei dem einmaligen Durchgange die Zerkleinerung, also auch der von den Erzen ausgeübte Widerstand ist, desto leichter sind die Riffeln der Walzen einer Beschädigung ausgesetzt. Aus diesem Grunde findet man nicht selten zwei Paar Walzen über einander angeordnet; die oberen mit gröberen

Fig. 59.



Riffeln und im weiteren Abstande von einander für die erste Zerkleinerung der aufgeschütteten Erze, die darunter befindlichen, feiner geriffelten und näher zusammengestellten für die letzte Zerkleinerung.

Ein Eisensteinswalzwerk mit zwei Walzenpaaren, wie es früher häufig angewendet wurde, ist in Fig. 59 abgebildet. Zwei kräftig gebaute Gusseisenständer *A* dienen zum Tragen der Walzenlager. Von diesen sind die an der rechten Seite befindlichen in ihrer Lage festgehalten; die Lager an der linken Seite dagegen sind in Führungen der Ständer nach links verschiebbar. In der Stellung, welche dem regelrechten Abstande der Walzenoberflächen von einander entspricht, werden sie durch die mit Gegengewichten beschwerten Hebel *bb* festgehalten, deren kürzere Arme gegen die Bolzen *cc* und durch diese gegen die Lager drücken; gelangt ein allzu hartes Erzstück zwischen die Walzen, so weichen die Lager aus, drücken die Hebel empor, und werden durch diese wieder in ihre richtige Stellung zurückgeführt, sobald das Erzstück die Walzen verlassen hat.

Alles weitere wird ohne Erläuterung verständlich sein. Die Erze werden von der in der Ebene der Oberkante der Ständer angebrachten

Bühne aus, welche gewöhnlich vermittelst einer schiefen Ebene von unten her zugänglich gemacht ist, durch den Trichter *d* zwischen die Walzen geschüttet.

Man pflegt den Walzen der Eisensteinswalzwerke 500 bis 700 mm Durchmesser bei 500 bis 900 mm Länge und eine Umfangsgeschwindigkeit von 500 bis 900 mm in der Secunde zu geben. Die Leistungsfähigkeit der Walzwerke ist von dem Härtegrade der Erze wie von dem Maasse der Zerkleinerung abhängig, immerhin aber günstiger als die der Pochwerke. Durchschnittlich kann man für je 1 Pferdestärke der Betriebsmaschine in 12stündiger Arbeit eine Leistung von 4000 kg zerkleinertem Erze veranschlagen.

Vor den Pochwerken haben die Walzwerke den Vortheil, dass die Korngrösse der in ihnen zerkleinerten Erze gleichmässiger ist und leichter sich regeln lässt. Seit dem Anfange des neunzehnten Jahrhunderts, wo sie zuerst in Cornwall für die Aufbereitung der Erze eingeführt wurden, haben sie daher in den Eisenhütten vielfach die Pochwerke verdrängt, bis sie in späterer Zeit wiederum durch die hierunter besprochenen Steinbrecher häufig ersetzt wurden.

c) Erzquetschen oder Steinbrecher.

Diese im Jahre 1858 von dem Amerikaner Blake erfundenen Maschinen haben, nachdem die ihnen zuerst anhaftenden Mängel glücklich beseitigt wurden, eine zunehmende Verbreitung gefunden und sind jetzt auf den Eisenwerken die am häufigsten benutzten Zerkleinerungsmaschinen für Erze und Zuschläge. Ihre Vorzüge gegenüber den bisher besprochenen Maschinen bestehen vornehmlich in einer geringen Raumbeanspruchung bei grösserer Leistungsfähigkeit; den Pochwerken gegenüber zeichnen sie sich ausserdem durch grössere Gleichmässigkeit der Korngrösse der zerkleinten Körper und die leichte Regelung dieser Korngrösse vortheilhaft aus.

Fig. 60 und 61 zeigen die allgemeine Einrichtung einer solchen Erzquetsche, zum Zerkleinern der Erze für den Hochofenbetrieb benutzt.[1]) Eine feste und eine bewegliche Backe *c* und *d*, aus Hartguss oder Gussstahl gefertigt und mit geriffelter Oberfläche versehen, dienen zur Zerkleinerung der dazwischen gebrachten Erzstücke. Die feste Backe ist in der Giebelwand des kräftigen gusseisernen Rahmens, welcher zum Tragen sämmtlicher Theile der Maschine dient, mit Keilen befestigt; die Backe *d* ist in ähnlicher Weise in einer starken Gusseisenplatte befestigt, welche pendelartig um die Achse *C* schwingt und bei ihrer Hin- und Herbewegung die Backen in rascher Aufeinanderfolge abwechselnd einander nähert und von einander entfernt. Die von oben zwischen die Backen geworfenen Erzstücke rücken hierbei immer tiefer und werden zu einer dem Abstande der Backen von einander an der engsten Stelle entsprechenden Korngrösse zerdrückt. Zur Hervorbringung jener Bewegung der Backe *d* ist in der Mitte der Maschine die von einer Riemenscheibe aus angetriebene, mit zwei Schwungrädern versehene gekröpfte Welle *A* gelagert, welche die an ihrer Kröpfung an-

1) Zeitschr. d. Ingenieur- und Architekten-Vereins für Hannover, Band 17, Seite 319.

greifende Zugstange *a* in auf- und abgehende Bewegung versetzt. Hierdurch wird der aus zwei starken Eisenplatten gebildete Kniehebel *ff* abwechselnd gebeugt und gestreckt und ertheilt hierbei, wie aus Fig. 60 unschwer zu erkennen ist, der Backe *d* die beschriebene Bewegung. An der Rückseite der Gusseisenplatte, welche die Backe *d* trägt, ist eine bufferartige, in der Abbildung erkennbare Vorrichtung angeschlossen,

Fig. 60.

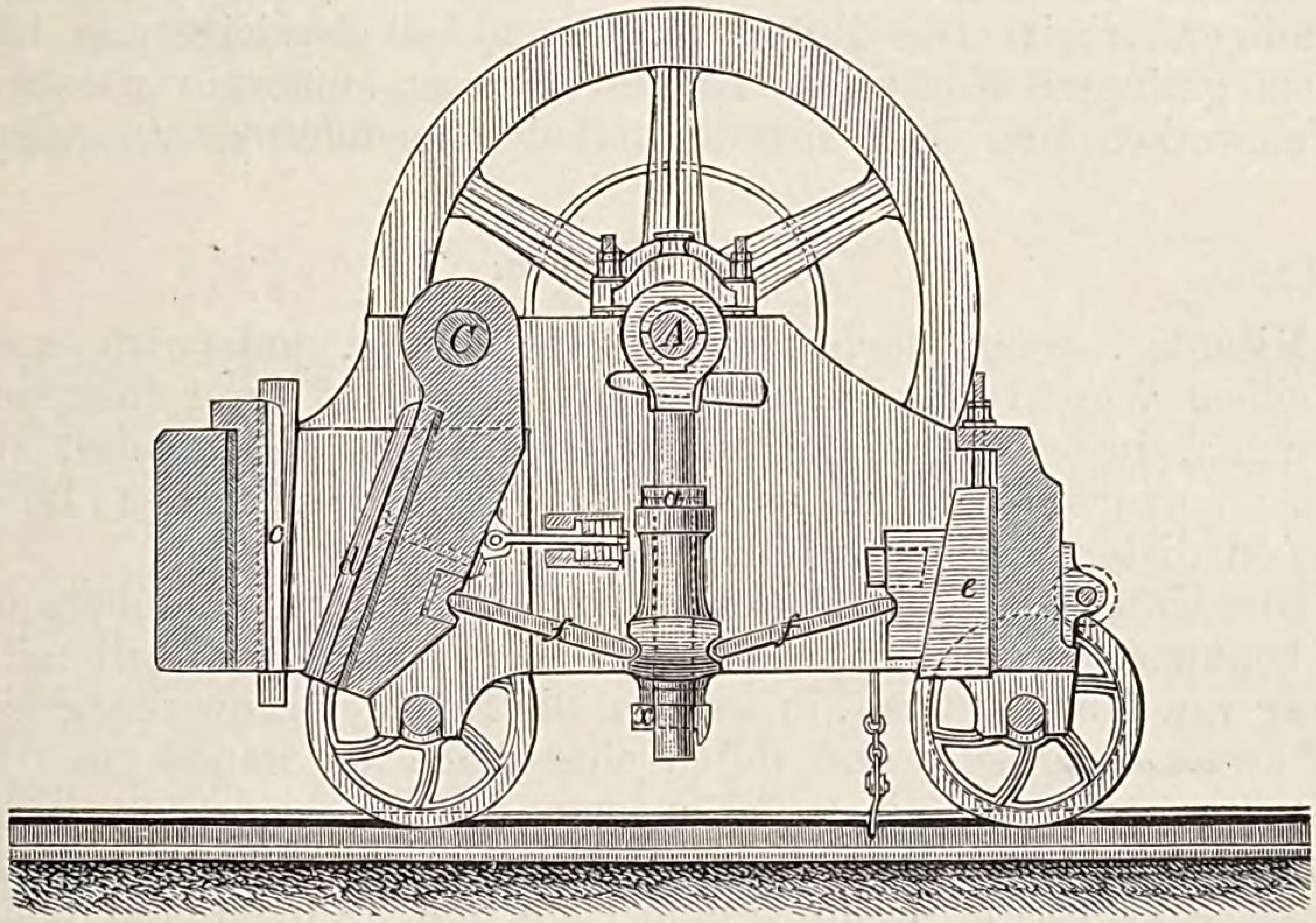
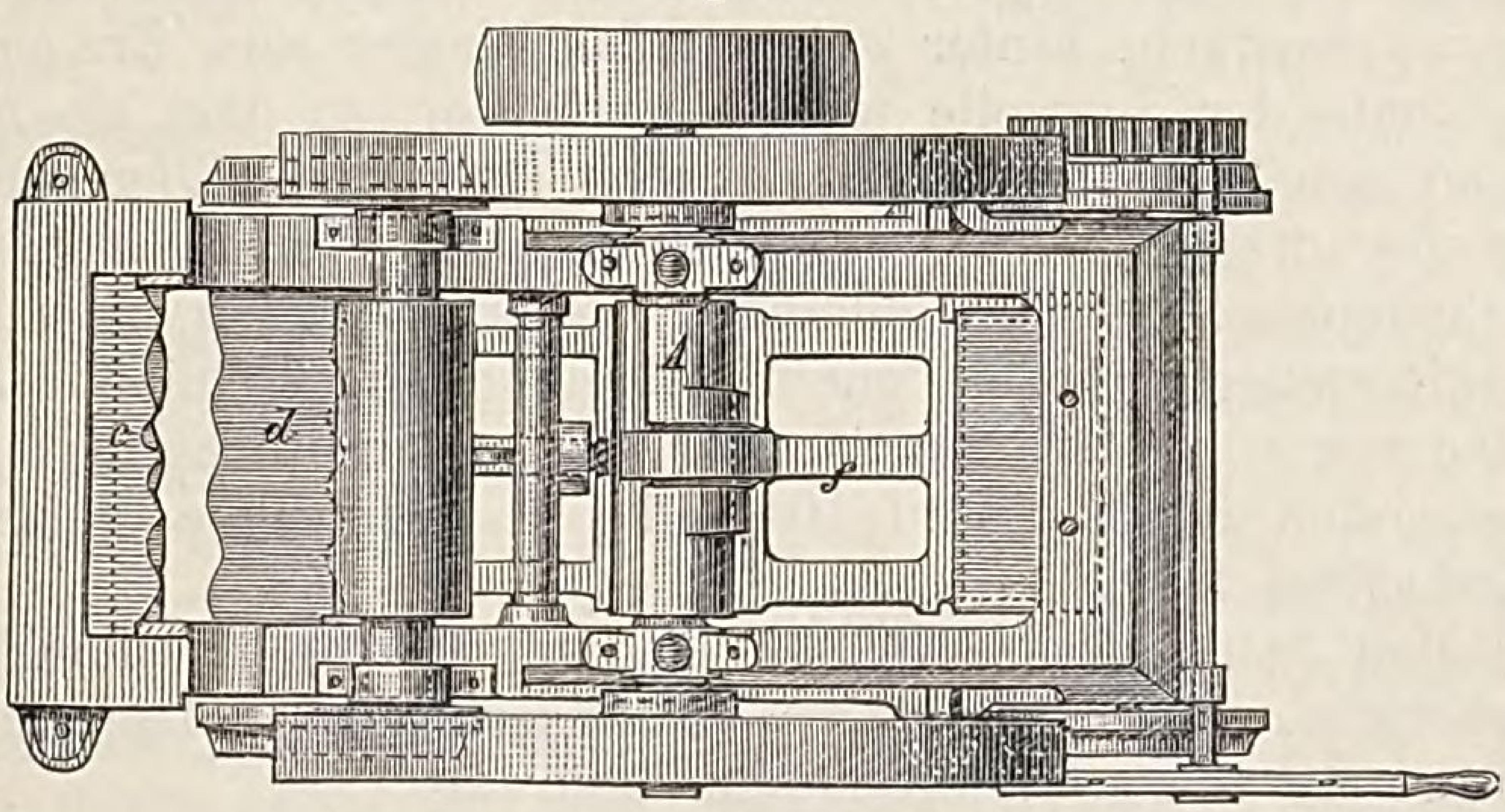


Fig. 61.



welche bei Beendigung des Hubes sie rasch zurückführt und somit verhindert, dass der nur lose eingesetzte Hebel zwischen Backe und Zugstange herausfalle.

Durch Einsetzen verschieden langer Hebel lassen sich verschiedene Korngrössen erzielen; innerhalb gewisser Grenzen jedoch lässt sich die Korngrösse auch ohne Hebelauswechselung durch Verstellung des an einer Schraube aufgehängten Keilstücks *e* regeln, wie in Fig. 60 erkennbar ist.

Die abgebildete Maschine ist mit Rädern versehen, um ohne Schwierigkeit fortbewegt werden zu können; an dem Orte ihrer Verwendung wird sie in irgend einer Weise befestigt, und die an den Rahmen seitlich angegossenen Laschen ermöglichen die Verschraubung auf einem entsprechend hergestellten Unterbau.

Man giebt den Erzquetschen ungefähr 200 Hübe in einer Minute. Die abgebildete Maschine zerkleint mit einem Arbeitsaufwande von 3 bis 4 Pferdestärken 10000 kg Spatheisenstein und Kalkstein in etwa $1^1/_2$ Stunden auf Faust- bis Eigrösse; also für je 1 Pferdestärke in 12stündiger Arbeit etwa 20000 kg. Auch bei Zerkleinerung härterer Erze auf geringere Korngrösse ist die Leistung immerhin günstiger als bei Walzwerken und lässt sich auf mindestens 6000 kg veranschlagen.

B. Das Waschen.

Mitunter, wenn auch nicht gerade häufig, unterwirft man die Erze einem Waschverfahren, um ihnen einen Theil ihrer fremden Beimengungen, insbesondere des anhaftenden Thons und Sandes, zu entziehen. Vorzugsweise sind es die mit Thon durchsetzten Bohnerze, welche in dieser Weise behandelt werden.

Die einfachste, zum Waschen von sandhaltigen Rasenerzen mitunter benutzte Vorrichtung besteht aus Gerinnen (Gräben) mit einer Neigung von 5 bis 10 Grad, in welchen die Erze der Einwirkung fliessenden Wassers ausgesetzt und durch eine Reihe am Rande des Grabens aufgestellter Arbeiter mit Krücken dem Strome wiederholt entgegengeführt werden. Nach Rittinger[1]) soll man den aus Holz gezimmerten Gerinnen etwa 6,65 m Breite, 0,30 m Tiefe und 2,5 bis 3,75 m Länge bei einer Neigung von höchstens 18 mm auf 1 m Länge geben. Zweckmässig kann es sein, in diesen Gerinnen einzelne quer durchgehende Schwellen anzuordnen, hinter welchen das Wasser und Erz sich stauen; die obere Seite der Schwelle wird abgeschrägt, so dass sie nach rückwärts gegen den Boden des Gerinnes sich als schiefe Ebene ansetzt und die Schwelle dreiseitigen Querschnitt erhält. Das Wasser mit den Schlammtheilchen lässt man ablaufen, die Erze werden nach beendigter Wäsche mit siebartig durchlochten Schaufeln ausgeschöpft. Bei einem Verbrauche von $^1/_4$ bis $^1/_2$ cbm Wasser in der Minute beträgt die Menge des gewaschenen Erzes bis zu 10000 kg in der Stunde, sofern es nicht an Arbeitskräften fehlt.

Bei den hohen Arbeitslöhnen jedoch, welche ein derartiges Verfahren erheischt, wendet man, wo das Waschen in grösserem Umfange durchgeführt werden soll, Maschinen dafür an.

Mitunter benutzt man halbcylindrische Tröge, in welchen eine Schraube mit wagerechter Achse sich dreht und das an einem Ende eingeschüttete Erz vorwärts schiebt, dabei vermöge der stattfindenden Reibung Sand, Thon und dergl. ablösend, während ein Wasserstrom in entgegengesetzter Richtung eingeführt wird und den Schlamm fortführt.

Häufiger sind umlaufende Trommeln aus Eisenblech. Die Achse dieser Trommeln ist wagerecht oder schwach geneigt, das Erz wird an

1) Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Seite 232.

der einen Seite eingeschüttet und allmählich vorwärts geschoben, um an dem entgegengesetzten Ende die Trommel zu verlassen. Durch die stattfindende Reibung und die Wirkung eines ununterbrochen hindurchgehenden Wasserstroms werden die fremden Theile entfernt; jene Bewegung des Erzes erfolgt entweder durch schraubenartig gewundene, an der Innenwand angebrachte Gänge aus Winkeleisen oder durch die geneigte Richtung der Trommelwand selbst. Das Wasser wird häufig in umgekehrter Richtung als die Erze zu- und abgeleitet. Die Stirnflächen der Trommeln sind so weit geschlossen, als erforderlich ist, die nöthige Wassermenge in der Trommel zu erhalten. Hinsichtlich der Einzelheiten dieser Vorrichtungen möge auf die unten gegebene Litteratur über Aufbereitung verwiesen werden.[1])

C. Das Rösten.

a) Erklärungen.

Rösten der Eisenerze nennt man eine vorbereitende Erhitzung, und zwar gewöhnlich ohne eigentliche Schmelzung. Im geschmolzenen Zustande der Erze würde eine Verschlackung der Eisenoxyde mit den fremden Bestandtheilen eintreten, und die ersteren würden dadurch an Reducirbarkeit verlieren, wie auch alle eisenhaltigen Schlacken schwieriger reducirbar sind als die freien Eisenoxyde.

Aus diesem Grunde ist es beim Rösten der Eisenerze Regel, die Temperatur auch nicht bis zum Sintern der Erze, d. h. beginnendem Zusammenbacken, zu steigern; Ausnahmen von dieser Regel kommen allerdings vor und sind durch besondere, später zu erörternde Gründe gerechtfertigt.

b) Zweck und Anwendung des Röstens.

In einzelnen Fällen, wenn auch verhältnissmässig selten, beabsichtigt man nur, eine Auflockerung harter und dichter Erze durch die Temperaturveränderungen, also durch rein physikalische Einflüsse, herbeizuführen. Risse und Spalten entstehen in den Erzstücken, das Erz wird mürbe, lässt sich besser zerkleinern und ist den Einflüssen reducirender Gase leichter zugänglich. Der Erfolg des Röstens wird in diesem Falle erleichtert, wenn man das noch heisse Erz mit kaltem Wasser ablöscht.

Häufiger beabsichtigt man, durch die Röstung chemische Umwandlungen auszuführen, welche sowohl das eigentliche Erz als dessen fremde Beimengungen betreffen können. Die Umwandlungen können durch Verflüchtigung einzelner Bestandtheile, oder durch Oxydation, oder auch durch beide Vorgänge gleichzeitig erreicht werden.

Eine Oxydation einzelner Bestandtheile oder Höheroxydation niedrigerer Oxydationsstufen kann in mehrfacher Hinsicht von Nutzen sein. Inwiefern dadurch die Entfernung einzelner schädlicher Fremdkörper aus den Erzen vor deren Verhüttung sich befördern lässt, wird unten Besprechung finden; unter den verschiedenen Oxydationsstufen

1) Abbildungen von Eisenerzwäschen: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band I, Taf. 38, 39 und 40; Journal of the United States Association of Charcoal Iron Workers, vol. VI, p. 57.

des Eisens aber ist das Eisenoxyd Fe_2O_3 leichter reducirbar als die sauerstoffärmeren, allgemein als Eisenoxyduloxyde bezeichneten Verbindungen, insbesondere als das rohe Magneteisenerz, wie durch Jahrhunderte lange Beobachtungen im Betriebe und durch wissenschaftliche Versuche zweifellos erwiesen ist.[1] Die Erklärung der scheinbar widersinnigen Thatsache, dass die sauerstoffreichere Verbindung leichter reducirbar als die sauerstoffärmere ist, liegt in dem Umstande, dass bei der Höheroxydation eine Auflockerung stattfindet, welche insbesondere die Einwirkung reducirender Gase erleichtert.

Zersetzbare Verbindungen als Bestandtheile der Erze selbst sind zunächst die Hydrate, aus denen sämmtliche Brauneisenerze bestehen. Sie werden schon in ziemlich niedriger Temperatur unter Verflüchtigung des Wassergehalts zerlegt und in Rotheisenerze umgewandelt. Jene Wasserverdampfung erheischt Wärme,[2] und dieser Umstand muss die Vermuthung nahe legen, dass man bei der späteren Verhüttung, für welche in der Regel ein werthvollerer Brennstoff als zum Rösten erforderlich ist, an Brennstoff sparen könne, wenn man die Brauneisenerze einem vorausgehenden Rösten unterzieht. Die Erfahrung hat jedoch diese Annahme in der Regel nicht bestätigt, und zwar aus dem Grunde nicht, weil bei der Verhüttung in den meisten Fällen überschüssige Wärme zur Genüge vorhanden ist, um jene Zersetzung zu bewirken. Deshalb sieht man jetzt ziemlich allgemein von der Röstung der Brauneisenerze ab, sofern nicht andere Gründe die Röstung erforderlich machen.

Eine andere Gruppe zerlegbarer Verbindungen sind die Carbonate, aus welchen unter den Erzen die Spatheisensteine und Sphärosiderite, unter den Zuschlägen die Kalksteine und Dolomite bestehen.

Spatheisensteine und Sphärosiderite entlassen bei der Zersetzung ein Gemisch von Kohlensäure und Kohlenoxyd und hinterbleiben als Eisensauerstoffverbindungen, deren Sauerstoffgehalt in jedem Falle höher ist als der des Eisenoxyduls FeO. Nach Wedding[3]) vollzieht sich der Vorgang, sofern die äussere Luft keinen Zutritt findet, nach der Formel

$$6\,FeCO_3 = Fe_6O_7 + CO + 5\,CO_2;$$

es ist jedoch wahrscheinlich, dass für den Verlauf der Zersetzung auch die herrschende Temperatur von Einfluss ist. Findet aber die äussere Luft Zutritt, so kann ausschliesslich Kohlendioxyd neben Eisenoxyd entstehen:

$$2\,FeCO_3 + O = Fe_2O_3 + 2\,CO_2.$$

Das erfolgende Eisenoxyd ist erheblich leichter reducirbar als das Carbonat, und die Zerlegung des letztern erheischt eine höhere Temperatur als die Zerlegung der Hydroxyde.[4] Daher pflegt man diese Erze im gerösteten Zustande zu verarbeiten.

1) Näheres in den unter Litteratur genannten Schriften Tholanders und Wiborghs.

2) Die Zerlegung der chemischen Verbindung geht ohne erheblichen Wärmeverbrauch vor sich; Wedding berechnet sogar, dass ein geringer Wärmegewinn damit verknüpft sei (Eisenhüttenkunde, Band 1, Seite 909).

3) „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 772.

4) Åkerman giebt die zur Zersetzung der Eisencarbonate erforderliche Temperatur zu 300 bis 400° C. an (Das Rösten der Eisenerze, Seite 2).

Bei der Röstung von Kalksteinen und Dolomiten wird Kohlensäure ausgetrieben, während die Oxyde hinterbleiben:

$$Ca(Mg)CO_3 = Ca(Mg)O + CO_2.$$

Bleiben diese Oxyde, insbesondere das Calciumoxyd, aber längere Zeit an der Luft lagern, so nehmen sie zunächst Feuchtigkeit auf und diese wird allmählich wieder durch Kohlensäure ersetzt. Der Zweck des Röstens geht demnach verloren, wenn die gerösteten Körper nicht baldige Verwendung finden. Die Zerlegung des Calciumcarbonats erfolgt erst in weit höherer Temperatur als die des Eisencarbonats (bei etwa 900° C.), und der Wärmeverbrauch ist erheblicher;[1]) man röstet daher den als Zuschlag dienenden Kalkstein in solchen Fällen, wo dieser Wärmeverbrauch nachtheilig für den Verlauf des durchzuführenden Verfahrens sein würde (z. B. bei dem in der dritten Abtheilung besprochenen Thomasverfahren), während man davon abzusehen pflegt, wenn der erreichbare Nutzen zu unbedeutend ist, um ausser den Kosten für das Rösten selbst auch diejenigen decken zu können, welche die für Erreichung des Zwecks erforderliche Aufbewahrung des gerösteten Steins in trocknen Räumen erheischen würde.

Fremde Bestandtheile der Erze, welche bei der Verhüttung von Nachtheil sein oder die Güte des erzeugten Eisens schädigen würden, durch entsprechend geleitete Röstung sich aber ganz oder theilweise entfernen lassen, sind vornehmlich Schwefel und Arsen.

Unter den in Eisenerzen vorkommenden schwefelhaltigen Mineralien tritt uns vorzugsweise häufig der Schwefelkies (FeS_2) entgegen, auch nicht selten der chemisch ebenso als jener zusammengesetzte Strahlkies oder Markasit; ferner finden sich Magnetkies (Fe_8S_9), Kupferkies ($CuFeS_2$), Zinkblende (ZnS), Bleiglanz (PbS) und als ein zugleich Arsen führendes Mineral Arsenkies ($FeSAs$). Besonders reich an diesen schwefelhaltigen Mineralien sind einige Magneteisenerze und Spatheisensteine, doch enthalten auch sämmtliche andere Erzgattungen nicht selten grössere Mengen davon, als dem Eisenhüttenmanne lieb ist. Das Verhalten des Schwefels beim Rösten aber kann verschieden sein, je nachdem er in dieser oder jener Verbindung auftritt.

Schwefelkies und Strahlkies werden schon in dunkler Rothgluth zersetzt, wobei annähernd die Hälfte Schwefel verflüchtigt wird; findet dabei die Luft Zutritt, so entsteht lösliches Eisensulfat, welches durch Auslaugen mit Wasser entfernt werden kann. Steigert man jedoch die Temperatur, so wird auch das Eisensulfat zersetzt, Schwefelsäure und schweflige Säure entweichen, und Eisenoxyd bleibt zurück. Auch der Magnetkies lässt sich durch den gleichen Vorgang seines Schwefelgehalts berauben. Im Betriebe wird jedoch die vollständige Erreichung des Ziels durch den Umstand erschwert, dass zu den im Innern dichter und beim Rösten nicht etwa zerfallender Erzstücke eingeschlossenen

1) Nach Jordan (Revue universelle des mines, t. 31, série 3, Jahr 1895, p. 6) sind zur Zerlegung von 1 kg $FeCO_3$ 130 W. E., von 1 kg $CaCO_3$ 447 W. E. erforderlich; nach Wedding (Eisenhüttenkunde; 2. Auflage, Band 1, Seite 912 und 915) gebraucht 1 kg $FeCO_3$ 259 W. E. (mithin doppelt so viel als nach Jordans Angabe), 1 kg $CaCO_3$ 425 W. E. Jordans Angaben entsprechen besser dem beim Rösten beider Körper sich ergebenden wirklichen Brennstoffverbrauche und sind daher wahrscheinlicher.

schwefelhaltigen Mineralien die Luft immerhin nur beschränkten Zutritt erhält. Besonders pflegen Magneteisenerze ein solches, der Entschweflung ungünstiges Verhalten zu zeigen. Während Spatheisensteine und Sphärosiderite Risse beim Rösten bekommen, auch wohl in kleinere Stücke zerbröckeln, sofern die Temperatur nicht bis zum Sintern stieg, bleiben die Magneteisenerze dicht und unzugänglich. Die Erfahrung hat nun aber gelehrt, dass auch in solchen besonderen Fällen eine, wenn nicht ganz vollständige, so doch weitgehende Entschweflung möglich ist, wenn die Erze bis zur Weissgluth, in welcher sie völlig sintern, unter reichlichem Luftzutritte ausreichend lange erhitzt werden. Schwefeleisen saigert hierbei aus, gelangt an die Oberfläche der Erzstücke und wird durch die Luft zersetzt.[1])

Kupferkies wird durch Röstung bei Luftzutritt in Sulfate umgewandelt, welche in Wasser löslich sind und in hoher Temperatur unter Hinterlassung der Oxyde und Austreibung der Schwefelsäure zersetzt werden.

Zinkblende bildet beim Rösten unter Luftzutritt Zinkoxyd neben Zinksulfat; letzteres aber ist durch Erhitzung nur in sehr hoher Temperatur zerlegbar. Seine Leichtlöslichkeit in Wasser giebt trotzdem ein Mittel an die Hand, es nach vollbrachter Röstung aus den Erzen zu entfernen.

Bleiglanz entlässt bei Luftzutritt schon in niedriger Temperatur einen Theil seines Schwefels als schweflige Säure; ein anderer Theil bildet mit dem entstehenden Bleioxyd schwefelsaures Salz, welches, wie das Zinksulfat, einer sehr hohen Temperatur zur Zerlegung bedarf, dagegen nicht, wie dieses, in Wasser löslich ist.

Arsenkies entlässt schon in dunkler Rothgluth ohne Luftzutritt einen Theil seines Schwefel- und Arsengehalts als Schwefelarsen; in höherer Temperatur und unter Luftzutritt entsteht zunächst schwefelsaures und arsensaures Eisen, welches ersteres wie bei der Schwefelkiesröstung zerlegt wird, während das letztere unzersetzbar ist. Ein Theil des Arsens bleibt also bei dem Eisen zurück und begleitet dieses durch alle Stufen der Verarbeitung; ein hoher Kalkgehalt der Erze befördert das Zurückbleiben des Arsens als Calciumarsenat.[2]) Das beim Rösten verflüchtigte Arsen, dessen Anwesenheit beim Rösten arsenhaltiger Erze sich gewöhnlich durch den bekannten knoblauchartigen Geruch verräth, wird bei Luftzutritt ganz oder theilweise zu Arsenigsäureanhydrid verbrannt.

Aus dem geschilderten Verhalten der verschiedenen in den Erzen auftretenden Schwefelverbindungen ergiebt sich, dass in jedem Falle ein grosser Theil des Schwefels durch Röstung der Erze ausgetrieben werden kann; dass eine weitgehende Entschweflung, in welcher Verbindung der Schwefel auch auftreten möge, nur bei Luftzutritt erreichbar ist; dass eine hoch, d. h. bis zum Sintern der Erze, gesteigerte Temperatur

1) Jernkontorets Annaler 1829, p. 452; R. Åkerman, Om jernmalmers rostning, p. 28. Vergleiche auch Campbells Versuche über die Schwefelwanderung im Eisen in „Stahl und Eisen" 1897, Seite 960.

2) Versuche hierüber: Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, p. 171; daraus in „Stahl und Eisen" 1888, Seite 537.

zwar in dem erwähnten besonderen Falle (Rösten dichter Magneteisenerze) von Nutzen sein kann, bei weniger dichten Erzen dagegen eher schädlich als vortheilhaft für die Entschweflung ist, indem durch das Sintern der Luftzutritt in das Innere der Erzstücke erschwert wird; und dass in vielen Fällen die Wirkung des Röstens durch eine nachfolgende Behandlung des Erzes mit Wasser zum Ausziehen der gebildeten löslichen Sulfate wesentlich unterstützt werden kann.

Die in früheren Jahren öfter vorgeschlagene und versuchsweise durchgeführte Anwendung von Wasserdampf beim Rösten zur vollständigeren Zerlegung der anwesenden Schwefelmetalle hat einen befriedigenden Erfolg nicht gehabt. Wenn auch die chemische Einwirkung des Wasserdampfs nicht zu leugnen ist, fällt doch die Entschweflung nicht vollständiger aus, als auch durch stark oxydirende Röstung ohne Wasserdampf zu erreichen ist, die Kosten des Verfahrens aber sind höher.

Schwefel, welcher in eingesprengten Sulfaten (Gips, Anhydrit, Schwerspath) auftritt, wird beim Rösten nicht ausgetrieben, da die zur Zerlegung jener Verbindungen erforderliche Temperatur höher ist, als man beim Rösten anzuwenden pflegt. Der Umstand ist jedoch unerheblich, da jene Mineralien ihren Schwefelgehalt bei der Verhüttung der Erze nicht an das Eisen abgeben, sondern in der Regel zu Sulfiden reducirt und als solche verschlackt werden.

Aus dem über den Zweck des Röstens Gesagten folgt, dass nicht alle Eisenerze geröstet zu werden brauchen. Nicht allein die Beschaffenheit des Erzes selbst wie seiner Beimengungen, sondern auch die Art des Verhüttungsverfahrens ist hierbei maassgebend.

In den meisten Fällen werden die Erze im Hochofen auf Roheisen verarbeitet. Wird hierbei eine basische, insbesondere kalkerdereiche, Schlacke gebildet, wie es bei dem Betriebe mit Koks oder mineralischen Brennstoffen in Rücksicht auf deren Schwefelgehalt ohnehin nothwendig ist, so besitzt diese die Fähigkeit, auch den Schwefel der Erze aufzunehmen; für das erfolgende Roheisen also wird er unschädlich, sofern nicht die Erze eine ungewöhnlich grosse Menge von Kiesen u. s. w. enthalten. Entsteht aber, wie in den meisten mit Holzkohlen betriebenen Hochöfen, eine kieselsäurereichere, kalkerdeärmere Schlacke (Bi- bis Trisilikat), so geht ein grosser Theil des anwesenden Schwefels an das Eisen und benachtheiligt dessen Eigenschaften. In diesem Falle ist demnach eine Röstung schwefelreicher Erze nicht allein zweckmässig, sondern sogar nothwendig, wenn brauchbares Eisen daraus dargestellt werden soll. Hieraus erklärt es sich, dass man beim Holzkohlenbetriebe überhaupt in umfänglicherem Maasse röstet, als beim Koksbetriebe.

Rotheisenerze werden nur ausnahmsweise geröstet, wenn entweder ein grosser Schwefelgehalt ausgetrieben werden oder eine mürbere Beschaffenheit der Erze hervorgerufen werden soll.

Brauneisenerze werden, wie schon erwähnt wurde, auch nur in denselben Ausnahmefällen wie die Rotheisenerze der Röstung unterzogen, nachdem die bei der Röstung stattfindende Austreibung ihres Wassergehalts sich als nutzlos für die spätere Verhüttung gezeigt hat.

Spatheisensteine und Sphärosiderite (sowie Kohleneisensteine und verwandte Erzsorten) werden der Regel nach geröstet, um

in Eisenoxyd umgewandelt zu werden, theilweise auch zur Austreibung ihres mitunter nicht unbeträchtlichen Schwefelgehalts. Mitunter verhüttet man allerdings neben den gerösteten Erzen auch kleinere oder grössere Mengen ungerösteter derselben Gattung, theils, um die Röstkosten zu sparen, theils auch, um gewisse, bei Besprechung des Hochofenschmelzens erläuterte Einflüsse auf den Schmelzgang auszuüben.

Magneteisenerze werden, sofern sie für die Verhüttung mit Holzkohlen bestimmt sind, fast ohne Ausnahme zur Höheroxydation geröstet; beim Betriebe mit Koks, wo in Anbetracht der grösseren Abmessungen der Hochöfen auch ihre Schwerreducirbarkeit von geringerm Belang ist, sieht man häufig von der Röstung ab.

Zuschlagskalksteine und Dolomite werden für den Hochofenbetrieb selten, für die basischen Verfahren der Flusseisendarstellung dagegen regelmässig geröstet (gebrannt).

Eisenreiche Schlacken (Frischschlacken, Schweissofenschlacken), deren Eisengehalt theils als Oxyd, zum grösseren Theile aber als Oxydul zugegen ist, und welche nicht selten neben den Erzen als Material zur Eisendarstellung benutzt werden, sind bisweilen versuchsweise oxydirend geröstet. Nach Tholanders Versuchen tritt hierbei eine Zerlegung unter Ausscheidung von Kieselsäure ein, und die Reducirbarkeit der Schlacken wird dadurch erhöht. Die Zeitdauer für die Höheroxydation der Silikate aber ist länger, das ganze Verfahren schwieriger durchführbar, als beim Rösten der Erze; hierin liegt der Grund, weshalb man von der Röstung der Schlacken, obgleich deren erfolgreiche Durchführung die Verhüttung erleichtern würde, doch fast niemals Gebrauch macht.

c) Die Ausführung des Röstens.

Allgemeines.

Aus der Erklärung des Begriffs „Rösten" ergiebt sich, dass die Ausführung des Verfahrens durch Erhitzung des Erzes unter Anwendung irgend eines Brennstoffs geschieht. Dieser kann fest oder gasförmig sein. Bei Kohleneisensteinen, welche selbst reich an brennbarer Masse sind, pflegt ein fremder Brennstoff nicht erforderlich zu sein, ja nicht selten reicht die bei ihrer Röstung entwickelte Wärme aus, auch noch andere Erze, welche zu diesem Zwecke mit jenen gemischt wurden, ohne besonderen Brennstoff zu rösten.

Da die Erze durch das Rösten mürbe zu werden pflegen, ist es Regel, die Zerkleinerung erst nach der Röstung vorzunehmen. Mitunter zerfallen die Erze schon beim Rösten, so dass die Zerkleinerung überhaupt entbehrlich wird. Grossstückige Erze aber bieten der Luft weniger Oberfläche dar als kleinstückige. Wo also eine thunlichst weitgehende Entschweflung der Hauptzweck des Röstens ist, verfährt man bisweilen umgekehrt; oder man röstet auch wohl doppelt, einmal vor der Zerkleinerung, um die Erze mürber zu machen, und dann ein zweites Mal nachher, um sie zu entschwefeln. Der Fall ist jedoch selten und kommt nur beim Holzkohlenbetriebe vor.

Da in allen den Fällen, wo eine Entschwefelung oder eine Höheroxydation der Erze beabsichtigt wird, der Zweck nur erreicht werden kann, wenn eine genügende Menge freien Sauerstoffs während des

Röstens Zutritt findet, in den selteneren Fällen aber, wo Eisenerze oder Zuschläge aus anderen Gründen geröstet werden, jener Zutritt der Luft wenigstens nicht nachtheilig auf den Erfolg einwirkt, pflegt man die Röstung der Eisenerze und Zuschläge stets in oxydirender Atmosphäre vorzunehmen.

Die anzuwendende Temperatur beim Rösten muss von der Beschaffenheit der Erze abhängig sein.

Je leichter die Erze mit den beigemengten Gangarten verschlacken, desto niedriger muss die Rösttemperatur gehalten werden. Erze, welche mit Quarz fein durchwachsen sind, ertragen deshalb durchschnittlich geringere Temperaturen als quarzfreie.

Eisenoxyd und Kalk schmelzen in hoher Temperatur zu einer weniger leicht reducirbaren Verbindung als das reine Eisenoxyd zusammen.[1]) Es folgt hieraus, dass auch für kalkige Rotheisenerze, sofern diese ausnahmsweise dem Rösten unterworfen werden, eine allzu hohe Temperatur nachtheilig sein würde.

Jene Höheroxydation der Carbonate und Magnetite, welche in zahlreichen Fällen der Hauptzweck der Röstung ist, wird am vollkommensten in Rothgluth erreicht. Magneteisenerze erfordern, um in Eisenoxyd umgewandelt zu werden, einer längeren Einwirkung oxydirender Gase als die erwähnten Carbonate. Eine vollständige Umwandlung in Oxyd wird bei beiden Erzgattungen selten erreicht, da immerhin die inneren Theile der Erzstücke der Einwirkung der oxydirenden Gase nur unvollständig ausgesetzt sind; je mehr Oberfläche die Erzstücke darbieten, je anhaltender die Erhitzung ist und je reichlicher die Luft Zutritt fand, desto mehr wird man sich jenem Ziele — der vollständigen Umwandlung des Oxyduls in Oxyd — nähern. Nicht günstig für die Entstehung des Eisenoxyds ist dagegen eine allzu hohe Temperatur. Fe_2O_3 ist eine in Weissgluth wenig beständige Verbindung und giebt Sauerstoff ab, ohne dass reducirende Einflüsse dabei thätig zu sein brauchen.[2]) Ist dagegen der Hauptzweck des Röstens, Magneteisenerze thunlichst vollständig zu entschwefeln, so ist dieses Ziel, wie oben erläutert wurde, nur durch stark oxydirende Röstung in Weissgluth erreichbar.

Das Rösten in Haufen und Stadeln.

Wie bei der Verkohlung und Verkokung roher Brennstoffe die Anwendung von Haufen (Meilern) das älteste und einfachste Verfahren bildet, aus welchem sich erst später die Anwendung von Oefen zur besseren Ausnutzung der erzeugten Wärme und zur sichereren Regelung des Verfahrens entwickelte, tritt uns auch als das einfachste und älteste Verfahren der Eisenerzröstung die Anwendung von Haufen entgegen, in welchen das Erz mit dem Brennstoffe geschichtet ist und durch die

1) Vergl. die unter Litteratur erwähnte Abhandlung von H. Tholander, Seite 118.

2) Diese schon früher bekannte Thatsache wurde durch mehrere Versuche von Tholander bestätigt. Eisenoxyd wurde durch einfaches Glühen in Oxyduloxyd umgewandelt, dessen Sauerstoffgehalt in einzelnen Fällen noch niedriger war als der durchschnittliche Sauerstoffgehalt der Magneteisenerze.

allmähliche Verbrennung des letzteren geröstet wird, welche die stete Berührung mit der äusseren Luft bewirkt.

Als Brennstoff für die Haufenröstung pflegt man, sofern nicht selbströstende Kohleneisensteine geröstet werden, Holzkohlen- oder Steinkohlenklein zu benutzen.

Den Haufen giebt man die Form ganz flacher abgestumpfter Pyramiden mit rechteckiger Grundfläche. Ihre Breite muss, damit die äussere Luft bis in das Innere vordringen kann, von der Grösse und Form der einzelnen Erzstücke abhängig sein und pflegt bei Erzen, welche mit fremdem Brennstoffe geröstet werden, 4 bis 6 m zu betragen, während man bei der Röstung von Kohleneisensteinen Haufen bis zu 10 m Breite anwendet. Die Länge der Haufen richtet sich nach der Menge des zu röstenden Erzes sowie der Grösse des verfügbaren Platzes und erreicht bei Kohleneisensteinen mitunter 60 m. Die Höhe muss sich, damit die Gase Durchgang haben, nach der Beschaffenheit der Erzstücke richten und schwankt zwischen 1 bis 5 m, geht aber nur in selteneren Fällen über 2,5 m hinaus.

Man benutzt einen ebenen trockenen Platz, den man erforderlichen Falls durch Aufstampfen von Lehm oder durch Pflasterung entsprechend vorbereitet. Bei der Röstung von Erzen ohne eigene Kohle schüttet man auf diesem Platze zunächst eine Schicht leicht entzündlichen Brennmaterials, am besten Holzscheite mit dazwischen geschütteten Spänen, Torf, Tannzapfen oder dergleichen, sonst auch wohl nur Holzkohlenlösche, in derjenigen Länge und Breite auf, welche die Grundfläche des Haufens erhalten soll. Diese unterste Schicht heisst das Röstbett. Nun kommt eine Schicht Erzstücke, etwa 40 bis 50 cm hoch, dann wieder eine Schicht Brennstoff (Holzkohlenklein, Steinkohlenklein), hierauf wieder Erz u. s. f. Die einzelnen Schichten werden mit Karren aufgefahren und mit Krücken geebnet; da die oberen Schichten von sämmtlichen aufsteigenden Gasen durchdrungen und hierbei ohnehin erhitzt werden, macht man die Kohlenschichten um so schwächer, die Erzschichten um so stärker, je weiter nach oben sie sich befinden, damit eine möglichst gleichmässige Erhitzung des ganzen Haufens erzielt werde.

Bei dem Auffahren der Schichten über einander erhält der Haufen von selbst, wenn man nicht etwa durch künstliches Aufbauen besonders dazu geeigneter Erzstücke senkrechte Umfassungswände herstellt, die Form einer flachen abgestumpften Pyramide gemäss dem Böschungswinkel des Materials.

Der ganze Haufen wird schliesslich noch mit einer Decke aus Kohlenklein versehen und nun ringsherum am Fusse entzündet.

Bei der Röstung von Kohleneisensteinen fällt, wie erwähnt, die Einschichtung von Brennstoff fort. Sind sie schwer entzündlich, so legt man beim Setzen des Haufens mit Hülfe grösserer Erzstücke Zündkanäle an der Sohle an, welche bis zur Mitte führen und mit leicht brennbarem Materiale gefüllt werden.

Sehr lange Haufen steckt man auch wohl nur an einer Seite in Brand, so dass das Feuer sich von hier aus nach dem anderen Ende hin fortpflanzt; die abgerösteten Erze werden entfernt, und man kann schon das Auffahren eines neuen Haufens beginnen, ehe der alte völlig durchgeröstet ist.

Die Brennzeit beträgt je nach der Grösse der Haufen zwei Wochen bis mehrere Monate. Verschieden ist auch der Brennstoffverbrauch bei den Erzen, welche nicht selbst ihren Brennstoff mitführen. Die Art des Brennstoffs, die erforderliche Rösttemperatur, die Grösse der Haufen sind hierbei maassgebend. Bei Anwendung von Steinkohlenklein kann man als durchschnittlichen Verbrauch zum Rösten von 1 t Erz 100 kg Kohlen rechnen; die Löhne betragen in den meisten Fällen 40 bis 50 Pfennige für 1 t Erz.

Da der Rösthaufen an allen Seiten und an der Oberfläche frei liegt und einem steten Luftwechsel ausgesetzt ist, kann die Ausnutzung des Brennstoffs beim Rösten in Haufen nicht günstig sein. Es kommt hinzu, dass der Verlauf der Verbrennung durch Witterungseinflüsse, insbesondere durch Stärke und Richtung des herrschenden Windes, beeinflusst wird, und dass es, ganz abgesehen von diesen zufälligen Einwirkungen, doch in Rücksicht auf die schon oben angedeutete Eigenthümlichkeit der Erhitzung, welcher die oberen Schichten stärker als die unteren ausgesetzt sind, auch bei sorgfältigster Aufstellung des Haufens kaum möglich ist, eine ganz gleichmässige Röstung der Erze zu erreichen. Stets werden sich einzelne zu schwach und andere zu stark geröstete Erze in einem und demselben Haufen befinden.

Von Jahrzehnt zu Jahrzehnt hat deshalb die in der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts noch sehr gebräuchliche Haufenröstung abgenommen, seitdem man mehr als in alter Zeit durch äussere Verhältnisse gezwungen war, bei jedem Verfahren der Eisenerzeugung auf Brennstoffersparung und möglichste Vervollkommnung des Arbeitsverfahrens Rücksicht zu nehmen. Am häufigsten kommt die Haufenröstung noch bei Kohleneisensteinen in Anwendung, weil hier jene Rücksicht auf Brennstoffersparung weniger in Betracht kommt, im Uebrigen aber das Verfahren einfach und mit geringen Kosten durchzuführen ist.

Mitunter hat man, um die Nachtheile der Haufenröstung zu verringern, den Rösthaufen durch eine niedrige Umfassungsmauer eingeschlossen, in welcher zahlreiche, für den Eintritt der Luft bestimmte Oeffnungen vorhanden sind. Man nennt die Einrichtung einen Röststadel. Durch eingelegte Steine lassen sich jene Oeffnungen in der Mauer beliebig schliessen, so dass eine Regelung des Luftzugs gemäss der herrschenden Windrichtung möglich wird. Die erreichten Vortheile sind jedoch nicht erheblich, und die Anlage und Unterhaltung des Röststadels macht Ausgaben erforderlich, welche bei der Haufenröstung wegfallen. Daher ist die Stadelröstung noch seltener als die Haufenröstung in Anwendung.

Das Rösten in Oefen.

Allgemeine Einrichtung der Röstöfen.

Man benutzt fast ausnahmslos Schachtöfen.[1]) Von dem Röststadel unterscheidet sich der Röstofen theils durch seine grössere Höhe und

1) Zu Eisenerz in Steiermark hat man Flammöfen mit Gasfeuerung zum Rösten wasserhaltiger, dicht liegender Erze eingerichtet. Die Oefen haben einen um etwa 40° geneigten Herd, auf welchem die oben eingeschütteten Erze abwärts gleiten,

geringere Weite, vornehmlich aber dadurch, dass in dem Ofen, welcher in dem unteren Theile mit Ausziehöffnungen für die abgerösteten Erze versehen ist, eine allmähliche Bewegung der in die Gicht des Ofens eingeschütteten Erze nach unten stattfindet und auf diese Weise ein ununterbrochener Betrieb des Ofens möglich ist; die Verbrennungsgase aber, welche in dem unteren Theile des Ofens, wo die Luft Zutritt hat, gebildet werden, steigen empor und begegnen den niederrückenden Erzen. Diese entgegengesetzte, allen eigentlichen Schachtöfen eigenthümliche Bewegungsrichtung der wärmeaufnehmenden und wärmeabgebenden Körper befördert die Wärmeausnutzung (Seite 58), und da sämmtliche in die Gicht eingeschütteten Erze auch denselben Weg zurücklegen, also der Erhitzung in dem gleichen Maasse ausgesetzt sind, ist die Röstung gleichmässiger als in Haufen und Stadeln.

Diese Vortheile — ununterbrochener Betrieb, geringerer Brennstoffverbrauch und gleichmässigere Beschaffenheit der gerösteten Erze — erheben die Ofenröstung zu dem vollkommensten aller Röstverfahren, so dass in der Jetztzeit die Ofenröstung die Regel bildet, während Haufen- und Stadelröstung zu den Ausnahmen zählen.

Verwendet man feste Brennstoffe — Kohlenklein — zum Rösten, so wird es in abwechselnden Schichten mit dem Erze in die Gicht eingeschüttet und sinkt wie dieses abwärts, um allmählich durch den aufsteigenden Luftstrom verbrannt zu werden; verwendet man Gas (Gichtgase des Hochofens, seltener Luftgas), so wird es durch Oeffnungen im unteren Theile des Ofens eingeleitet. Die Verbrennungsluft lässt man in beiden Fällen durch die zum Ziehen der Erze bestimmten Oeffnungen zutreten; sie muss hierbei zwischen den noch warmen Erzstücken hindurch ihren Weg nehmen, kühlt diese ab und führt die aufgenommene Wärme in den Ofen zurück. Nicht selten jedoch ordnet man ausser diesen Oeffnungen noch besondere Luftzuführungsöffnungen an, insbesondere dann, wenn eine stark oxydirende Röstung beabsichtigt ist; oder wenn Versetzungen durch sinternde Erze zu befürchten sind, zu deren Beseitigung man Stangen durch die Oeffnungen einführen kann. Man nennt Oeffnungen, welche vornehmlich für letzteren Zweck bestimmt sind, Störöffnungen oder Störräume. Der Luftzug wird fast immer durch den Ofen selbst, welcher hierbei als Esse wirkt, erzeugt; nur in wenigen Ausnahmefällen — bei dicht liegenden Erzen in hohen Oefen — hat man den kostspieligeren Gebläsewind zur Anwendung gebracht.

Gasfeuerung gewährt vor der Feuerung mit festen Brennstoffen ausser den schon erwähnten allgemeinen Annehmlichkeiten in diesem Falle den Vortheil, dass die Erze nicht durch Asche der Brennstoffe verunreinigt werden, und bei der Aufgabe, eine thunlichst vollständige Entschweflung dichter Magneteisenerze herbeizuführen, giebt sie leichter die Möglichkeit, die hierfür erforderliche hohe Temperatur bei stark oxydirender Gasatmosphäre herbeizuführen. Es kommt hierbei in Be-

dem unten eintretenden Gasstrome entgegen (Mosers Röstofen). Näheres: Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Band 16, Seite 384; Berg- und Hüttenmännische Zeitung 1867, Seite 492; 1872, Seite 27. Von Anwendung der Ringöfen zum Rösten, welche ebenfalls den Flammöfen angehören, wird unten die Rede sein.

tracht, dass durch die Berührung der Erze mit festen Brennstoffen immerhin die Oxydationswirkung des Ofens geschwächt werden muss. Wenn trotzdem die Gasfeuerung bei Röstöfen nicht so häufig als die Feuerung mit festem Brennstoffe angetroffen wird, so ist der Grund dafür zum Theile in dem Umstande zu suchen, dass als fester Brennstoff Kohlenklein zu dienen pflegt, welches auf den meisten Eisenwerken fast kostenlos zu haben ist, während seine Umwandlung in brennbares Gas nicht ohne einen Kostenaufwand für Anlage und Wartung der Gaserzeuger zu bewerkstelligen sein würde, dessen Betrag nicht im Einklange zu dem erreichbaren Nutzen zu stehen pflegt; ferner, dass die Wartung des Röstofens selbst grössere Aufmerksamkeit bei Gasfeuerung als bei der Feuerung mit Kohlenklein erheischt. Ausserdem ist in Rücksicht zu ziehen, dass jene genannten, für die Eisenerzröstung allein in Betracht kommenden Gase einer ziemlich hohen Temperatur im Verbrennungsraume bedürfen, um entzündet und vollständig verbrannt zu werden, welche nicht bei allen zu röstenden Erzen erwünscht ist. Vorzugsweise da gelangen Gasröstöfen zur Anwendung, wo Hochofengichtgase, also ein an und für sich kostenlos erfolgendes Nebenerzeugniss des Hochofens, für ihre Heizung verfügbar sind. Wo aber diese Gichtgase zur Heizung von Dampfkesseln und Winderhitzern vollständig ausgenutzt werden, man also bei ihrer Verwendung zum Rösten noch einen besonderen Aufwand an Brennstoff für jene anderen Zwecke zu tragen haben würde, da ist fast immer das Rösten mit Kohlenklein dem Rösten mit Gas vorzuziehen.

Ein Mittelding zwischen den eigentlichen Gasröstöfen und den Oefen mit eingeschichtetem Kohlenklein bilden solche Oefen, bei denen auf Rosten, welche ausserhalb des Ofenschachts angebracht sind, ihre Verbrennungsgase aber in das Ofeninnere entlassen, flammende Brennstoffe (Holz, Steinkohlen) verbrannt werden, so dass die Verbrennungsgase durch die aufgeschichteten Erze hindurch ihren Weg nehmen müssen. Solche Oefen haben mit den Gasröstöfen den Vortheil gemein, dass die Verunreinigung der Erze durch Asche ausgeschlossen und stärkere Oxydationswirkung als bei der Berührung der Erze mit glühenden Kohlen möglich ist; sie erfordern aber immerhin die Anwendung kostspieligerer Brennstoffe als die gewöhnlichen Röstöfen für Kohlenklein. Man hat sie in einzelnen Fällen benutzt, wo die Erlangung jener Vortheile der Gasfeuerungen besonders wünschenswerth war, Gase aber nicht zur Verwendung standen. Im Ganzen haben sie sich wenig bewährt.[1])

Die Form und Grösse der verschiedenen auf den Eisenwerken zur Verwendung gebrachten Röstöfen ist mannigfaltig. Da von den zur Verhüttung bestimmten Eisenerzen nur der kleinere Theil der Röstung unterworfen wird, findet man den Bau und den Betrieb der Röstöfen vorwiegend in einzelnen Bezirken ausgebildet, wo eben jene der Röstung bedürfenden Eisenerze (Carbonate und Magnetite) in grösseren Mengen auftreten, während in anderen Gegenden, wo man ausschliesslich Roth- und Brauneisenerze verhüttet, auch auf grossen Eisenwerken oft nicht ein einziger Röstofen angetroffen wird. Da

1) Abbildungen solcher Oefen enthält Åkermans unter Litteratur genanntes Werk über Rösten der Eisenerze.

anderntheils die Ansprüche, welche an den Erfolg der Röstung gestellt werden, nach der Beschaffenheit der Erze selbst wie nach der Art der späteren Verhüttung verschieden sein können (wie oben erläutert wurde), lassen sich auch wiederum gewisse Eigenthümlichkeiten in der Einrichtung der Oefen eines ganzen Bezirks erkennen, welche eben durch jene verschiedenen Ansprüche begründet sind.

So z. B. bilden in Cleveland und Südwales thonige Sphärosiderite den Hauptreichthum an Eisenerz. Sie bedürfen, um leichtreducirbar zu werden, einer oxydirenden Röstung; da sie mit Koks oder Steinkohlen verhüttet werden, ihr durchschnittlicher Schwefelgehalt überhaupt nicht sehr hoch ist, besitzt die Aufgabe der Entschweflung geringere Wichtigkeit, aber der massenhafte Verbrauch an jenen Erzen stellt erhöhte Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der Oefen. Daher zeichnen sich die Oefen jener Bezirke meistens aus durch bedeutende Grösse, welcher eine entsprechend grosse Leistung entspricht; als Brennstoffe dienen grösstentheils die billig zu erlangenden Steinkohlen, da Gasröstung hier wenig Vortheil bringen würde.

Anders gestalten sich die Verhältnisse, wo schwefelreiche Magneteisenerze mit Holzkohlen verhüttet werden sollen, also nicht allein Höheroxydation dieser schwer reducirbaren Erze, sondern auch möglichst weitgehende Entschweflung unerlässlich ist. In dieser Beziehung sind die Verhältnisse Schwedens besonders lehrreich. Für die Lösung der Aufgabe ist nicht allein starke Oxydationswirkung, sondern auch hohe Temperatur bis zur Sinterung der Erze erforderlich; hier also ist Gasheizung der Röstöfen vorwiegend am Platze. Schweden, dessen Eisenhüttenleute von jeher ihre besondere Aufmerksamkeit der Ausbildung des Röstverfahrens zugewendet haben, ist die Heimath der Gasröstöfen wie der diesen nahestehenden Röstöfen mit Rostfeuerung ausserhalb des Schachtes. Von hier aus wurden diese Einrichtungen nach anderen Gegenden verpflanzt, wo ähnliche Verhältnisse obwalteten (Nordamerika, Ungarn, Ural).

In den österreichischen Alpenländern sind es vorwiegend Spathe, die, um mit Koks oder Holzkohlen verhüttet zu werden, zum Rösten gelangen. Ein Theil dieser Erze ist ziemlich schwefelfrei und es bedarf, zumal für die Verhüttung mit Koks, nur einer Zersetzung und Höheroxydation des Carbonats; andere sind stark mit Kiesen durchwachsen und bedürfen der Entschweflung. Jene hohe Temperatur aber, welche für die dichten Magneteisenerze Schwedens zur Entschweflung erforderlich ist, würde die Spatheisensteine verschlacken und ist um so eher entbehrlich, als diese Erze bei ihrer Zersetzung ohnehin eine mürbe, porige Beschaffenheit annehmen, welche auch ihr Inneres der Einwirkung der Luft zugänglich macht. Einzelne Erze zerfallen sogar vollständig beim Rösten, behindern dadurch den Luftzug im Ofen und erfordern deshalb Oefen von geringer Höhe. Die Röstofenformen der alpinen Eisenwerke sind daher ziemlich mannigfaltig. Reichliche und auf eine grössere Fläche vertheilte Luftzuführung, durch welche theils eine kräftige Oxydationswirkung hervorgerufen, theils eine übermässige örtliche Temperatursteigerung im Ofen verhindert wird, ist fast allen gemeinsam. Für dicht liegende Erze sind ganz niedrige Oefen mit Gasheizung in Verwendung.

In Deutschland bilden die zu röstenden Erze durchschnittlich einen geringeren Theil der gesammten Beschickung als in den genannten Ländern; man schmelzt in den allermeisten Fällen mit Koks, so dass eine vollständige Entschweflung kaum erforderlich ist, und die Röstung besitzt im Allgemeinen nicht jene hohe Wichtigkeit als dort. Einzelne Werke allerdings, deren Erzreichthum vorzugsweise aus Spathen und Sphärosideriten besteht, sind auch mit umfänglichen Anlagen für deren Röstung versehen. Die deutschen Röstöfen pflegen, diesen Verhältnissen entsprechend, mittlere Grösse zu besitzen und sich durch Einfachheit der Einrichtung auszuzeichnen. Bisweilen röstet man mehrere Erzgattungen (Spathe, Magnetite) nach einander in demselben Ofen.

Aufbau der Röstöfen.

In früherer Zeit gab man, geleitet durch die damaligen Ansichten über Wärmeverluste durch dünne Wände, den Röstöfen einen Kernschacht und umhüllte ihn mit einem Rauhgemäuer von oft ansehnlicher Stärke. Solche ältere Röstöfen, schwerfällig in ihrer Bauart, sind noch heute auf einzelnen Werken in Anwendung, da gewöhnlich kein Grund vorliegt, sie, wo sie einmal vorhanden sind, abzubrechen.

Wo man indessen neue Oefen anlegt, pflegt man den früher erörterten Grundsätzen für den Ofenbau gemäss zu verfahren: man umschliesst den Ofenschacht mit einer Rüstung, die aus einem Blechmantel besteht, mitunter auch wohl nur durch umgelegte Eisenringe gebildet ist, und lässt das Rauhgemäuer fehlen. Der ganze Ofen wird dadurch leichter, billiger und beansprucht weniger Platz, ohne deshalb an Haltbarkeit einzubüssen. Die unten gegebenen Beispiele neuerer Eisenerzröstöfen werden geeignet sein, diese Bauart näher zu erläutern.

Gichtbeförderung.

Eine Vorrichtung ist erforderlich, um die Gicht des Ofens zugänglich zu machen. Es ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Wagen, welche Erze und Brennstoffe zuführen, bis an die Gichtöffnung geschoben werden müssen, um hier entleert zu werden.

Ist der Grund, auf dem das Eisenwerk liegt, abschüssig, so stellt man die Röstöfen gern an einer tieferen Stelle auf und führt eine wagerechte oder schwach ansteigende Brücke von dem Erzlagerplatze nach der Ofengicht hinüber.

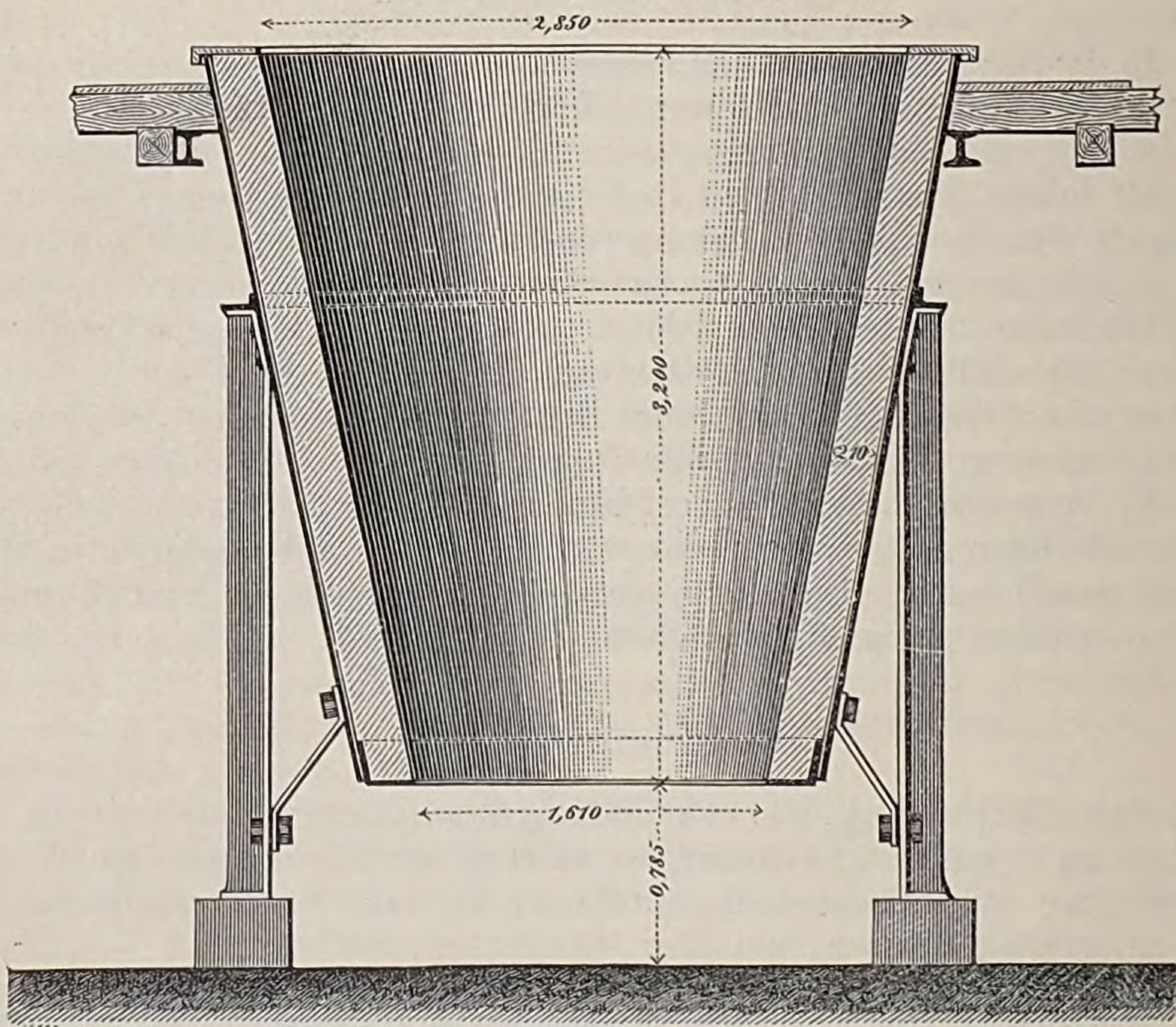
Ist eine derartige Anordnung nicht möglich, die Höhe der Oefen aber nicht sehr beträchtlich, so legt man bisweilen eine geneigte Ebene, aus Bohlen gezimmert oder aus Eisen gefertigt, von der Sohle nach der Gicht hinauf.

Für grössere Anlagen dagegen pflegt man mechanische Gichtaufzüge einzurichten. Mehrere Röstöfen werden in diesem Falle durch Brücken (Bühnen) unter einander verbunden, und ein Aufzug genügt für ihre Bedienung. Mitunter benutzt man Wasserdruck-Aufzüge, welche einen ganzen Eisenbahnwagen sammt seinem Inhalte auf die Gicht und nach bewirkter Entleerung wieder hinunter befördern. Die senkrechte Kolbenstange des vertieft aufgestellten Druckcylinders trägt eine Platt-

form, von welcher die Last aufgenommen wird. Im Uebrigen lassen sich auch ähnliche Gichtaufzüge wie für Hochöfen benutzen, welche in der 2. Abtheilung dieses Buches beschrieben sind.

Ist jedoch der Stürzplatz für die rohen Erze weit entfernt von den Röstöfen, so erlangt man durch Anlage einer Drahtseilbahn die Möglichkeit, die Erze von dort aus unmittelbar nach der Gichtbühne der Röstöfen hinauf zu befördern, ohne hierbei durch Unebenheiten des Bodens, ja selbst durch dazwischen liegende Gebäude und dergleichen behindert zu werden. Mitunter werden die Erze unmittelbar von der Grube aus durch eine Drahtseilbahn den Röstöfen zugeführt, sofern man nicht vorzieht, das Rösten schon bei der Grube vorzunehmen. Für die

Fig. 62.



Wahl dieses Verfahrens kann der Umstand den Ausschlag geben, dass manche Erze (Spathe, Sphärosiderite) beim Rösten an Gewicht verlieren, und dass demnach die Beförderungskosten für das geröstete Erz geringer als für das ungeröstete ausfallen.

Beispiele von Röstöfen.

Der in Fig. 62 abgebildete, unter dem Namen Siegerländer Röstofen bekannte Ofen dürfte die denkbar einfachste Form aller Röstöfen sein. Ein umgekehrter abgestumpfter Kegel, von drei Füssen getragen, bildet den ganzen Ofen. Der Raum zwischen dem Erdboden und der Unterkante des Schachts ist während des Betriebs mit abgerösteten Erzen ausgefüllt, welche hier abkühlen; werden sie entfernt, so

rutscht aus dem Ofen eine entsprechende Menge Erz nach. Die Verengung des Schachts nach unten zu befördert die gleichmässigere Vertheilung der eintretenden Luft und der entstehenden Verbrennungsgase. Bei einem cylinderförmigen Schachte würde die Luft sofort an den Wänden emporsteigen, ohne in die Mitte des Ofen zu gelangen; je näher der Ofenachse die Luft eintritt, desto gleichmässiger ist ihre Vertheilung.

Man benutzt diese Art von Röstöfen mit gutem Erfolge zum Rösten aller solcher Erze, welche einer hohen Rösttemperatur nicht bedürfen: der Spatheisenerze, Sphärosiderite, Kohleneisensteine. Die Abmessungen der Oefen sind meistens annähernd dieselben wie in der Abbildung;[1] ihre Leistungsfähigkeit ist ziemlich bedeutend. Nach Dürre röstet man zu Geisweid in einem derartigen Ofen von etwa 15 cbm Rauminhalt täglich 20 t Spatheisensteine. Auf den Gruben zu Könitz in Thüringen werden in ebensolchen Oefen mit 3,2 m oberem Durchmesser, 1,5 m unterem Durchmesser, 3,2 m Höhe des Schachts und 0,7 m Abstand der Schachtöffnung vom Boden — also etwa 17 cbm Inhalt — täglich 32 t Spatheisensteine mit einem Kohlenverbrauche von etwa 40 kg für 1 t Roherz geröstet, und es ergiebt sich ein Röstverlust von 29 v. H. In Königin-Marienhütte röstet man in einem ebensolchen Ofen wie in Könitz täglich 60 t Zwickauer Kohleneisensteine ohne Aufwand fremden Brennstoffs mit einem Röstverluste von 30 v. H. Durchschnittlich ergiebt sich in den erwähnten Fällen eine Tagesleistung auf je 1 cbm Rauminhalt von 1,5 t rohem Spath oder 3,5 t rohem Kohleneisenstein. Die Rösterlöhne betragen für 1 t Roherz etwa 25 Pfennige.

Will man den Röstöfen grössere Abmessungen geben, als der abgebildete Ofen besitzt, sei es, um die Leistung des Ofens zu erhöhen, sei es, um die Möglichkeit zu erlangen, eine höhere Temperatur zu erzielen, so würde die Beibehaltung der ganz gleichen Ofenform leicht zu Unzuträglichkeiten führen. Insbesondere würde die Gicht alsdann einen für die bequeme Bedienung allzu grossen Durchmesser erhalten. Man pflegt deshalb in solchen Fällen die in Fig. 63 a. f. S. dargestellte Form anzuwenden: dem obern Theile des Ofens Cylinderform zu geben und die Verengung erst in dem tiefer gelegenen Theile beginnen zu lassen.

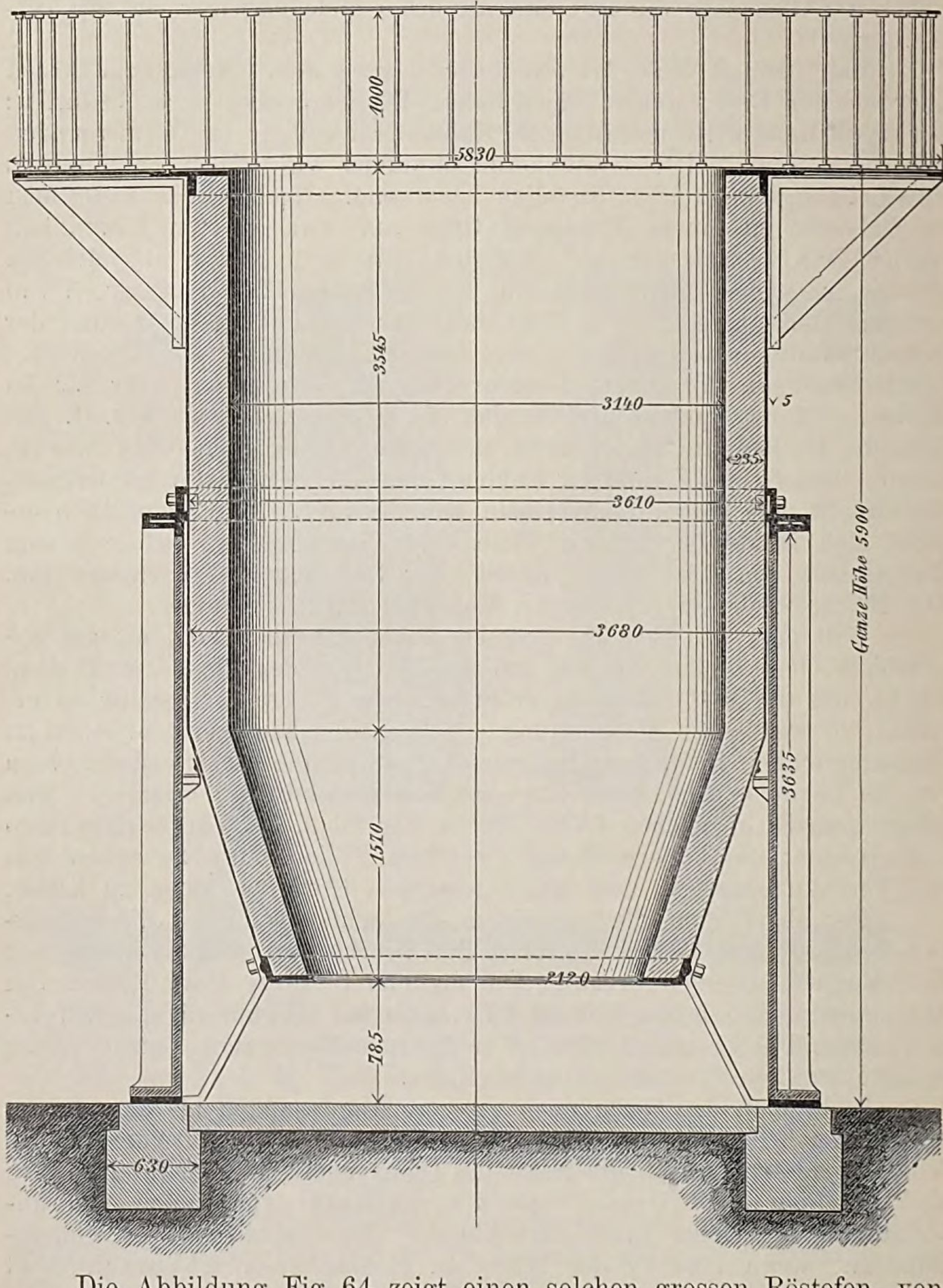
Der abgebildete Ofen wurde in den achtziger Jahren dieses Jahrhunderts auf einem oberschlesischen Eisenwerke zum Rösten von Spathen und Magneteisenerzen erbaut. Die tägliche Leistung beim Rösten von Magneteisenerzen betrug 16 bis 17 t, also bei 36 cbm räumlichem Inhalt etwa 400 kg auf 1 cbm. Der Brennstoffverbrauch betrug 50 kg Steinkohlenklein für 1 t gerösteten Erzes.

Giebt man den Oefen noch grössere Abmessungen als dem zuletzt besprochenen Röstofen, so wird mit zunehmendem Ofendurchmesser das Vordringen der Luft in die Mitte des Ofens mehr und mehr erschwert, und es entsteht die Gefahr, dass hier ein Kern ungerösteten oder unvollständig gerösteten Erzes zurückbleibt. Der Uebelstand lässt sich abmindern, wenn man in der Mitte am Boden einen Abrutschkegel

1) Die eingeschriebenen Maasse des abgebildeten Röstofens sind die bei einer Röstofenanlage zu Geisweid benutzten. Eine vollständige Abbildung der ganzen Anlage findet der Leser in Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 1, Taf. 2.

anbringt, welcher die Erze zwingt, nach aussen hin abzugleiten, und durch welchen hindurch, wenn er entsprechend eingerichtet ist, auch Luft in den mittleren Theil des Ofens geführt werden kann.

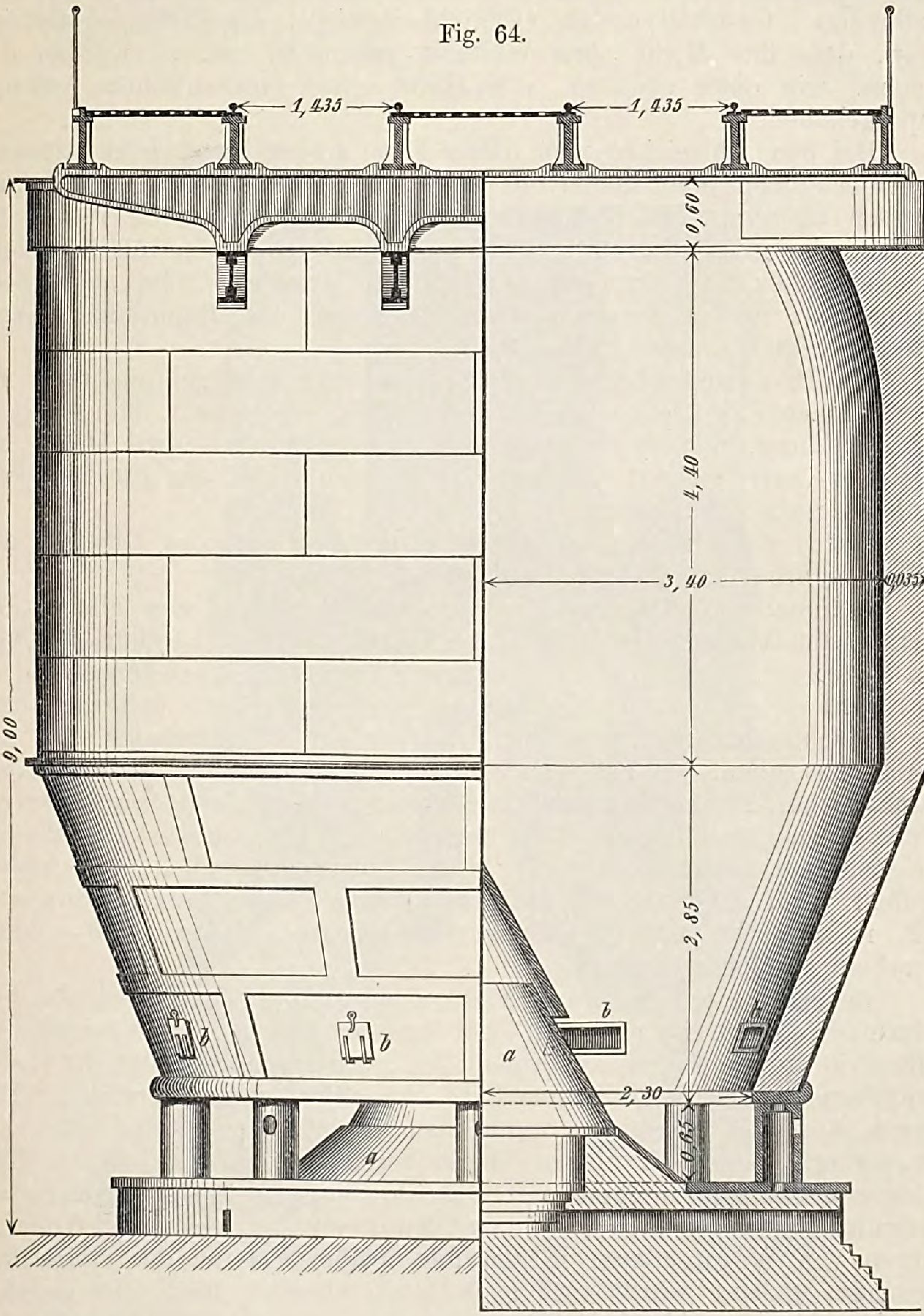
Fig. 63.



Die Abbildung Fig. 64 zeigt einen solchen grossen Röstofen, von J. Gjers entworfen und auf verschiedenen Cleveländer Eisenwerken zum Rösten der dortigen Sphärosiderite in Benutzung. Zum Tragen des schweren Ofens dienen niedrige Gusseisensäulen (bei einigen derartigen

Oefen gemauerte Steinpfeiler), auf welchen ein Gusseisenkranz ruht. *a* ist der schon erwähnte Abrutschkegel; ein Kanal unter der Sohle (rechts sichtbar) ermöglicht der äussern Luft, in das Innere des Kegels

Fig. 64.



und von hier aus in den Ofen zu gelangen. *bb* sind Störöffnungen, zur Beseitigung entstandener Versetzungen dienend.

Quer über die Gicht des Ofens hinüber sind zwei Schienengleise gelegt, so dass die mit den Erzen oder mit Brennstoff beladenen Eisenbahnwagen ohne Weiteres bis hierher gerollt und hier entleert werden

können. Bühnen neben den Gleisen ermöglichen den Zugang für die Arbeiter, welche das Ausladen bewirken.

Wo mehrere solche Oefen vorhanden sind, werden sie in einer Reihe aufgestellt und durch Brücken mit Schienengleisen unter einander verbunden. Gestattet es die Oertlichkeit nicht, die Oefen so tief zu legen, dass ihre Gicht ohne Weiteres zugänglich ist, so werden die Wagen, wie oben erwähnt, mit Hülfe eines mechanischen Aufzugs emporgehoben.

Bei den zahlreichen nach dieser Form ausgeführten Oefen stimmen die Abmessungen nicht immer mit den in der Abbildung eingeschriebenen Maassen überein. Die Höhe der Oefen schwankt zwischen 9—15 m, während der innere Durchmesser des weitesten Theiles gewöhnlich nicht erheblich über 7,5 m hinausgeht, bei den kleinsten Oefen aber nicht geringer als in der Abbildung zu sein pflegt. Der Rauminhalt dieser Oefen beträgt demnach 230—450 cbm.

Als Brennstoff dient Steinkohlenklein und man gebraucht für 1 t zu röstenden Erzes etwa 40 kg Kohle. Die von einem Ofen, wie in der Abbildung, täglich verarbeitete Erzmenge beträgt etwa 100 t, bei grösseren Oefen steigert sie sich auf 160 t und bei den grössten vermuthlich noch etwas mehr.

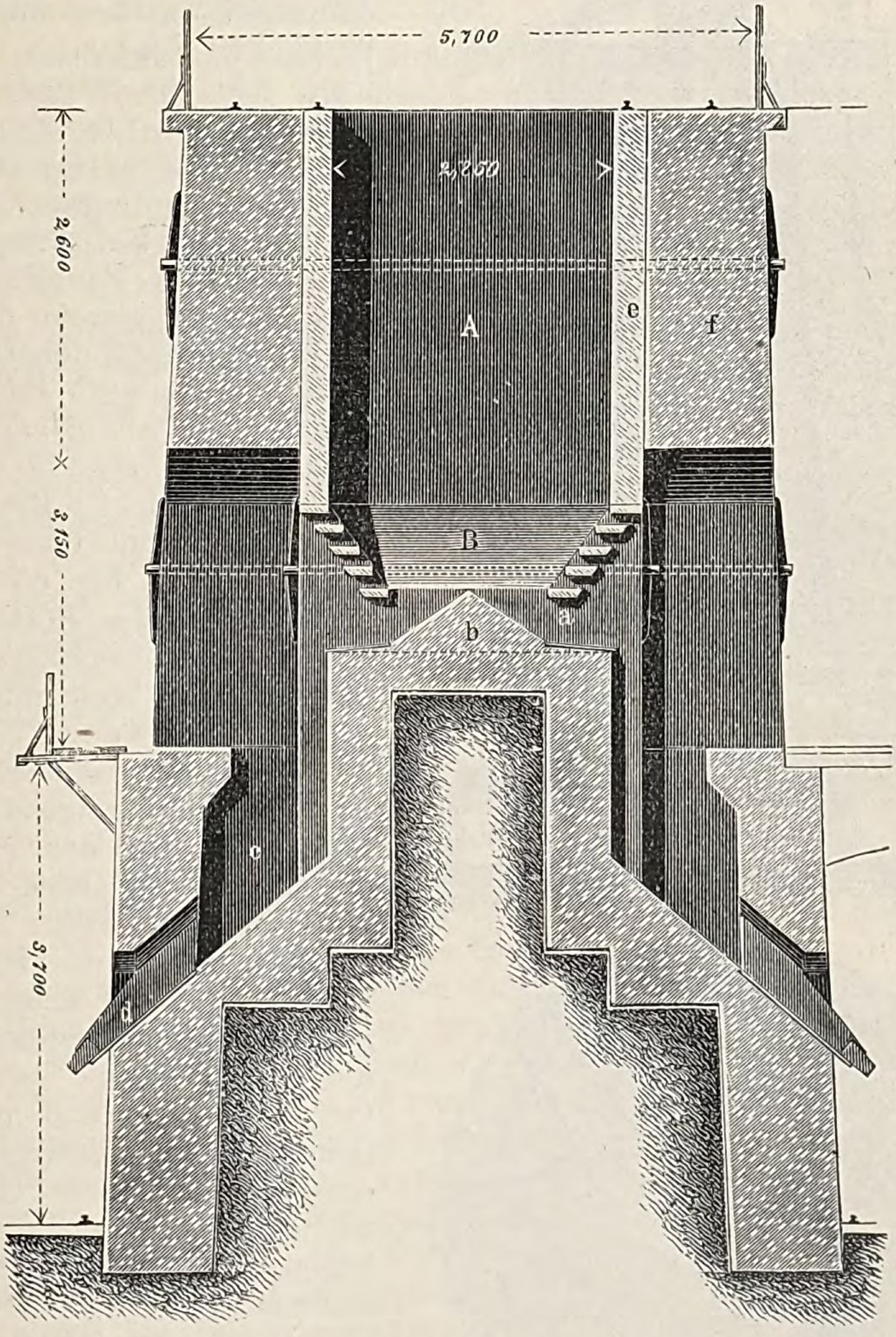
Auf 1 cbm Rauminhalt bezogen, beziffert sich das Gewicht des täglich verarbeiteten Roherzes auf 400—450 kg.

Aehnliche Röstöfen wie der abgebildete wurden, ebenfalls in den allergrössten Abmessungen, von John Borrie auf den Cleveland-Werken von Bolckow, Vaughan & Co. erbaut. Von den beschriebenen Gjersöfen unterscheiden sich die Borrieöfen vornehmlich dadurch, dass die Schachtmauerung nebst dem zugehörigen Blechmantel, statt auf Säulen zu ruhen, bis auf das Grundgemäuer heruntergeht, hier aber durch sechs Ausziehöffnungen unterbrochen ist, welche durch eiserne, abwärts geneigte Lutten das Erz heraus und in bereit gestellte Wagen hineinstürzen lassen, sobald ein in die Lutten eingeschalteter Schieber geöffnet wird. Die tägliche Leistung eines solchen Borrieofens von 14,25 m Höhe bei 6,25 m innerem Durchmesser wird zu 150—200 t verarbeitetes Roherz angegeben.

Bei den alpinen, zum Rösten von Spatheisensteinen bestimmten Oefen ist man von jeher bemüht gewesen, einen reichlichen Luftzutritt in das Innere zu ermöglichen, um hierdurch eine thunlichst weitgehende Entschweflung der Erze ohne Sinterung zu erzielen. Der Zweck lässt sich erreichen, wenn man den Ofen, wie die bisher besprochenen, in seinem untern Theile verengt, zugleich aber die Umfassung dieses untern Theils mit Durchbrechungen versieht, welche als Luftzutrittsöffnungen dienen. Einen Ofen dieser Art, welcher in früheren Jahren von Wagner zum Rösten der Spatheisensteine des steirischen Erzberges gebaut wurde und noch heute ziemlich häufig in gleicher oder ähnlicher Ausführung in Benutzung ist, zeigt die Abbildung Fig. 65. *f* ist das starke Rauhgemäuer, welches den Schacht *e* einschliesst. Unten ist der Schacht zusammengezogen und an zwei gegenüberliegenden Seiten oberhalb der vorhandenen beiden Ausziehöffnungen durch Treppenroste, aus starken eingemauerten Eisenbalken gebildet, begrenzt, welche der Luft freien Zutritt bis in das Innere des Ofens gewähren. Ein Ab-

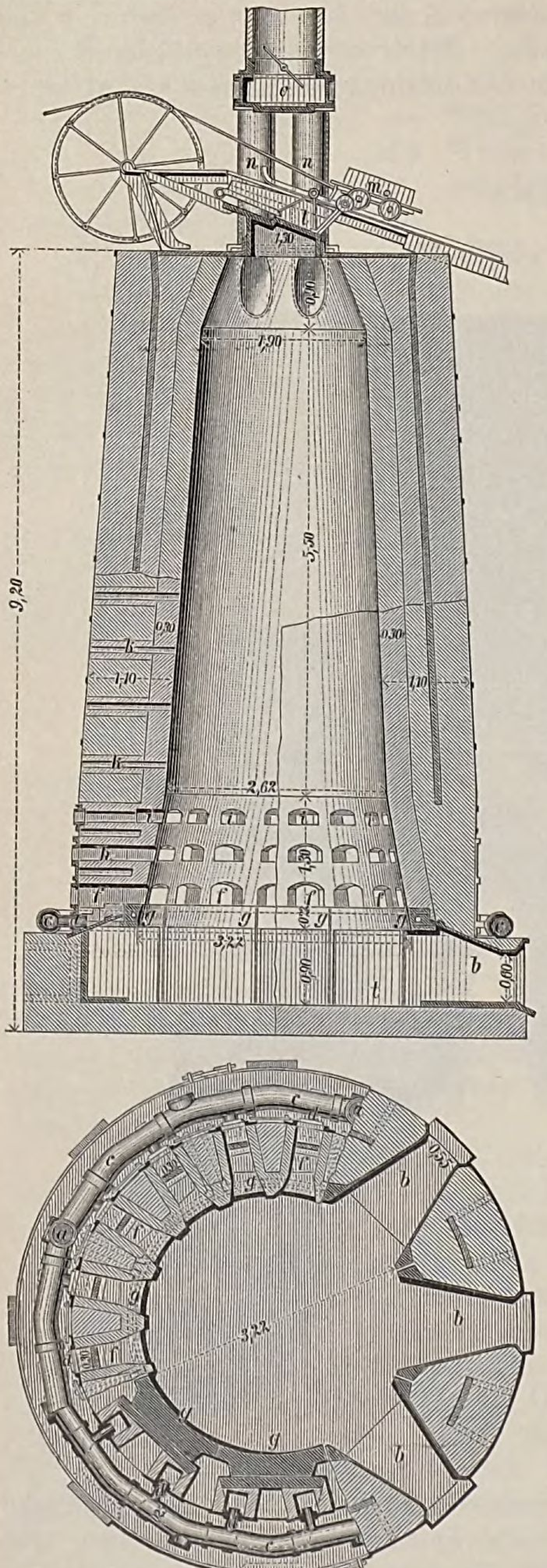
rutschdach führt die Erze nach den beiden unter den Treppenrosten angebrachten Ziehöffnungen hin, von wo sie durch eine Lutte in die tiefer stehenden Wagen hinabstürzen. Dieser etwas schwerfällige Unterbau ist durch örtliche Verhältnisse (Anordnung der Oefen am Abhange des Berges) bedingt.

Fig. 65.



Die Abmessungen der in verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten erbauten Oefen dieser Form sind nicht immer dieselben. Bei Oefen zu Eisenerz ist der Schacht vierseitig prismatisch geformt; die Breite misst 2,85 m, die Länge 4,50 m und bei anderen 6,50 m; die Höhe 4—5 m. Die grösseren Oefen haben einen Rauminhalt von 85 cbm und liefern täglich 15—20 t geröstetes Erz; röstet man nur gröbere

Fig. 66 und 67.



Stücke, so steigt die Leistung auf 30 bis 40 t.[1]) Neuerbaute Oefen dieser Art zu Donawitz sind 2,84 m breit, 5,70 m lang, 3,75 m hoch (von der Spitze des Abrutschdachs gemessen), an jeder der beiden Seiten mit Ziehöffnungen versehen und liefern 22 bis 24 t Erz täglich. Rechnet man, dass die Spatheisensteine beim Rösten durchschnittlich 25 v. H. ihres Gewichts verlieren, so würde jene Gesammtleistung einer täglichen Leistung für je 1 cbm Rauminhalt von etwa 300 kg klarem oder 450 bis 550 kg grobem Roherz, durchschnittlich von etwa 450 kg entsprechen. Der Brennstoffverbrauch beträgt etwa 50 kg Holzkohlenklein für 1 t Roherz.

Unter allen Gasröstöfen nimmt der in Fig. 66 und 67 abgebildete, zum Rösten grobstückiger Magneteisenerze in Sintertemperatur bestimmte Röstofen des Schweden Westman seiner Grösse wie seiner Leistung nach die hervorragendste Stellung ein. Seit der Erbauung des ersten dieser Oefen im Jahre 1851 auf dem Werke Söderfors bei Dannemora sind nicht allein in Schweden die schon damals gebräuchlichen Gasröstöfen — die sogenannten Tenninge-Oefen — mehr und mehr von ihm verdrängt worden, sondern er ist auch ausserhalb Schwedens, wo ähnliche Verhältnisse vorliegen, öfters in Anwendung gekommen.

Die Heizung dieser Oefen wird in Schweden durch Hochofengase bewirkt; mit gleich gutem Erfolge würde Luftgas benutzt werden können, sofern

1) Die Zahlenangaben sind der unter Litteratur erwähnten Abhandlung von E. Gruner entnommen, welche ausführliche Mittheilungen über zahlreiche in Steiermark und Kärnten angewendete Röstöfen für Eisenerze enthält.

dessen Wassergehalt nicht zu bedeutend ist. Wo aber nicht Gichtgase für das Rösten zur Verwendung stehen, fällt eine Hauptveranlassung zur Anwendung der Gasfeuerung in Röstöfen fort, und der andere Grund zur Einführung von Gasröstöfen, die erreichbare vollständigere Entschweflung kiesiger und dichter Magneteisenerze, verliert, sofern der Schwefelgehalt der Erze nicht etwa ausnahmsweise hoch ist, an Bedeutung, wenn man die Erze nicht mit Holzkohlen, sondern mit mineralischen Brennstoffen verarbeitet.

Wenn unter solchen Verhältnissen die Anwendung des Westmanschen Ofens vorwiegend auf diejenigen Bezirke beschränkt blieb, wo Holzkohlen als Brennstoff für die Verhüttung gerösteter Magneteisenerze zur Verwendung stehen, so verdient dennoch jener Ofen, da er immerhin ein bedeutsames Glied unter den Einrichtungen der Eisenhütten eines für das gesammte Eisenhüttenwesen nicht unwichtigen Landes bildet, eine etwas ausführlichere Besprechung.

Der Schacht zeigt, abweichend von den Röstöfen für niedrigere Temperaturen, eine Erweiterung nach unten, um das Ansetzen sinternder Erze an die Wände zu erschweren, das gleichmässige Niederrücken zu erleichtern, und zwar ist diese Erweiterung am stärksten in dem Theile unmittelbar über den Gaseinströmungsöffnungen, wo der sogenannte Röstgürtel sich bildet, d. h. wo die stärkste Temperatur herrscht und das Erz infolge davon einen teigartigen Zustand annimmt. Der Ofen besteht aus Kernschacht und Rauhgemäuer; ersterer wird von einem Gusseisenringe *gg* getragen, welcher zugleich die obere Begrenzung der Ausziehöffnungen *bb* . . bildet und zwischen ihnen auf dem Mauerwerke ruht.

Die Gase treten durch senkrechte Rohre *a* (Fig. 67) in das rings um den Ofen herum führende Rohr *c*, gelangen aus diesem durch die Rohrstutzen *dd* in die Einströmungskanäle *ff* . . und von hier in den Ofen. Diese Kanäle, welche sich unmittelbar über dem Ringträger *g* befinden, sind nach aussen verlängert und hier durch eine Kapsel oder Thür verschlossen, so dass man im Stande ist, von hier aus Werkzeuge zum Losbrechen der Erze in den Ofen zu führen. Die Anzahl der Gaseinströmungen ist doppelt so gross als diejenige der Ziehöffnungen, und sie liegen so dicht bei einander, dass das Erz überall zugänglich für jene Werkzeuge bleibt. So nahe über den Einströmungen *ff* . ., als es in Rücksicht auf die Haltbarkeit des Ofengemäuers irgend thunlich ist, befindet sich eine Reihe Störöffnungen *hh* . . und über diesen eine zweite Reihe *ii* . . . Sie alle liegen so dicht bei einander und sind nach innen derartig erweitert, dass das sinternde Erz in ihrer Ebene gleichfalls zugänglich für die Werkzeuge der Arbeiter ist. Ueber diesen Störöffnungen sind nun ausserdem noch vier Reihen engerer Schauöffnungen *kk* . . angebracht, durch welche hindurch man die Temperatur beobachten kann. Auch diese sind wie sämmtliche Störöffnungen durch Thüren oder eingelegte Ziegeln verschliessbar.

Die Verbrennungsluft tritt durch die Ziehöffnungen in den Ofen und hat zunächst, ehe sie auf das Gas trifft, die im unteren Theile des Ofens befindlichen glühenden Erze zu durchströmen. Zur besseren Regelung des Luftzutritts sind die Ziehöffnungen mit Thüren versehen,

in denen sich je fünf, durch Drehschieber ganz oder theilweise verschliessbare Luftlöcher befinden.

Die Anzahl der Ziehöffnungen richtet sich nach dem Durchmesser des Ofens; bei den grösseren Oefen sind acht Ziehöffnungen vorhanden, bei den kleinsten Oefen von 1,9 m Durchmesser im unteren Theile ist deren Zahl auf fünf beschränkt.

Bei einzelnen Westmanschen Oefen hat man Gebläseluft statt des natürlichen Luftzuges zur Anwendung gebracht, welche in das hohl gegossene Trägereisen *g* und durch feine Oeffnungen aus diesem in den Ofen geführt wird. Es hat sich jedoch gezeigt, dass besondere Vortheile hierdurch nicht erreicht werden.

Die Gicht des Ofens ist während des Betriebs durch einen schräg liegenden Deckel *l* geschlossen, welcher von dem mit Erz beladenen, durch eine mechanische Vorrichtung auf der schiefen Ebene emporgezogenen Wagen *m* selbstthätig zurückgeschoben wird, sobald dieser über der Gicht anlangt, worauf die ebenfalls selbstthätige Entleerung des Wagens erfolgt. Die Gichtgase aber treten durch vier seitlich angebrachte Rohre *nn* . . in den Sammelkasten *o* und werden von hier aus in die mit Klappe zur Regelung des Zuges versehene, etwa 10 m hohe Esse geführt.

Als Leistung des Ofens rechnet man für je eine Ziehöffnung in 24 Stunden 5 t, bei 8 Ziehöffnungen mithin 40 t. Bei einem räumlichen Inhalte des Ofens von 31 cbm würde diese Erzmenge einer Leistung von etwa 1300 kg Erz auf 1 cbm Rauminhalt entsprechen. Man pflegt in 8stündiger Arbeitsschicht durchschnittlich sechsmal Erze zu ziehen. Das herauskommende Erz ist noch so glühend, dass man eiserner Wagen zum Fortschaffen bedarf.

Als Brennstoffverbrauch giebt Rinman 300 cbm Hochofengas für 1 t Erze an.[1]) Um einen Vergleich mit dem Brennstoffverbrauche der bisher besprochenen Röstöfen zu erhalten, würde man annehmen können, dass jene 300 cbm Gichtgase annähernd gleichwerthig sind mit 200 cbm Luftgas aus Steinkohlen, zu dessen Darstellung ungefähr 60 kg Steinkohlen erforderlich sein würden. Der Brennstoffverbrauch in diesem Ofen ist also durchschnittlich etwas höher als bei den bisher besprochenen Oefen für feste Brennstoffe, welcher Umstand sich zur Genüge erklärt, wenn man erwägt, dass die Erhitzung der Erze bedeutend stärker ist und sein soll als in jenen Oefen.

Will man Gasfeuerung zum Rösten solcher Erze verwenden, welche jene hohe, in den Westmanöfen herrschende Temperatur nicht ertragen — Spatheisensteine und andere —, so muss die Einrichtung sich anders gestalten. Die Höhe der Oefen muss geringer sein; ganz besonders ist eine solche geringe Höhe erforderlich, wenn die Erze die Neigung besitzen, beim Rösten zu zerfallen und hierdurch Verstopfungen herbeizuführen. Solche kleine Gasröstöfen für Spath- und dichtliegende Brauneisenerze sind auf Eisenwerken der österreichischen Alpen, wo man zum Betriebe der Gebläse Wasserkraft benutzt und demnach Gichtgase zum Rösten verfügbar hat, mehrfach in Anwendung und pflegen nach ihrem Erfinder Fillafersche Röstöfen genannt zu werden. Die

1) Berg- und hüttenmännische Zeitung 1872, Seite 112.

Fig. 68.

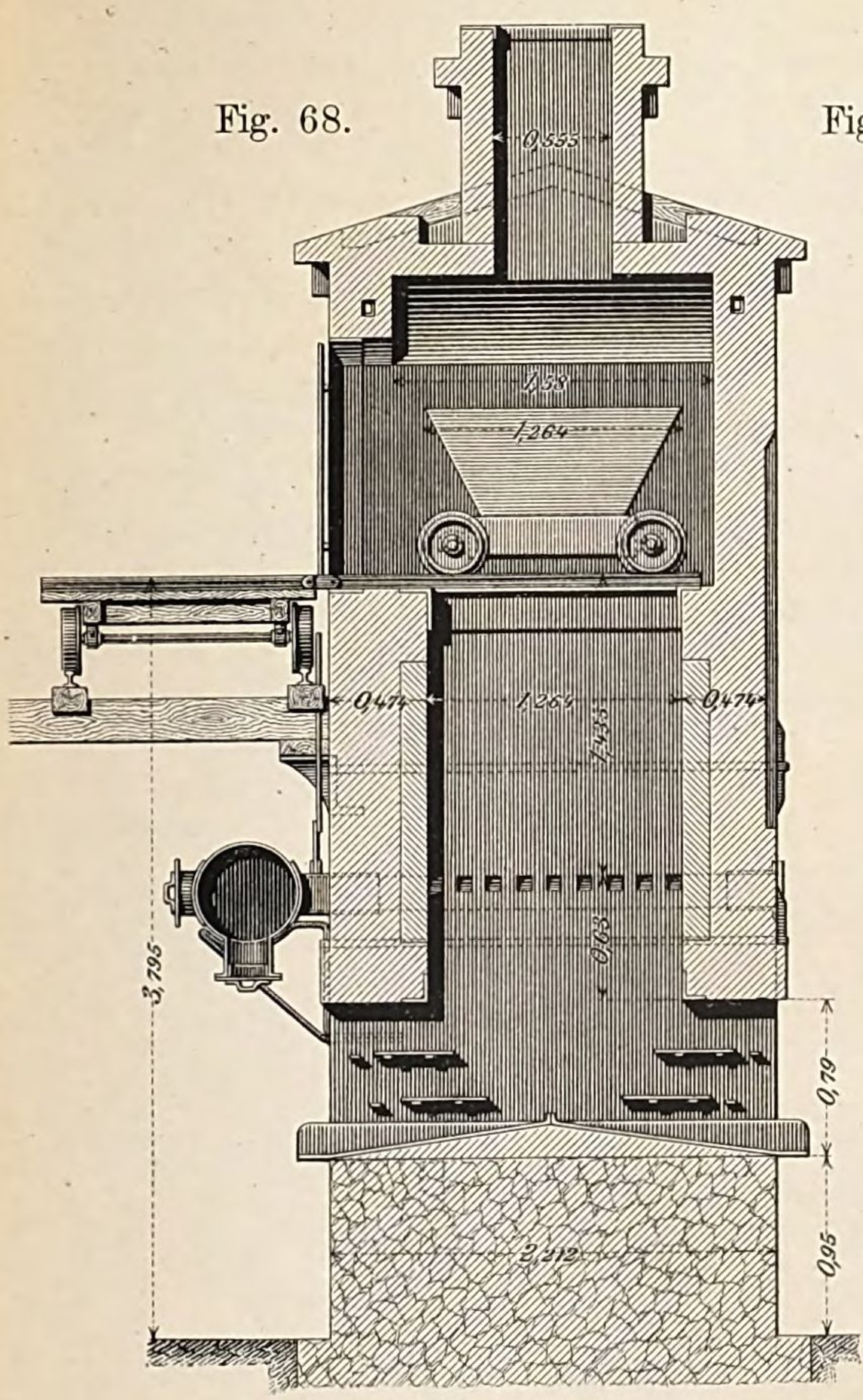


Fig. 69.

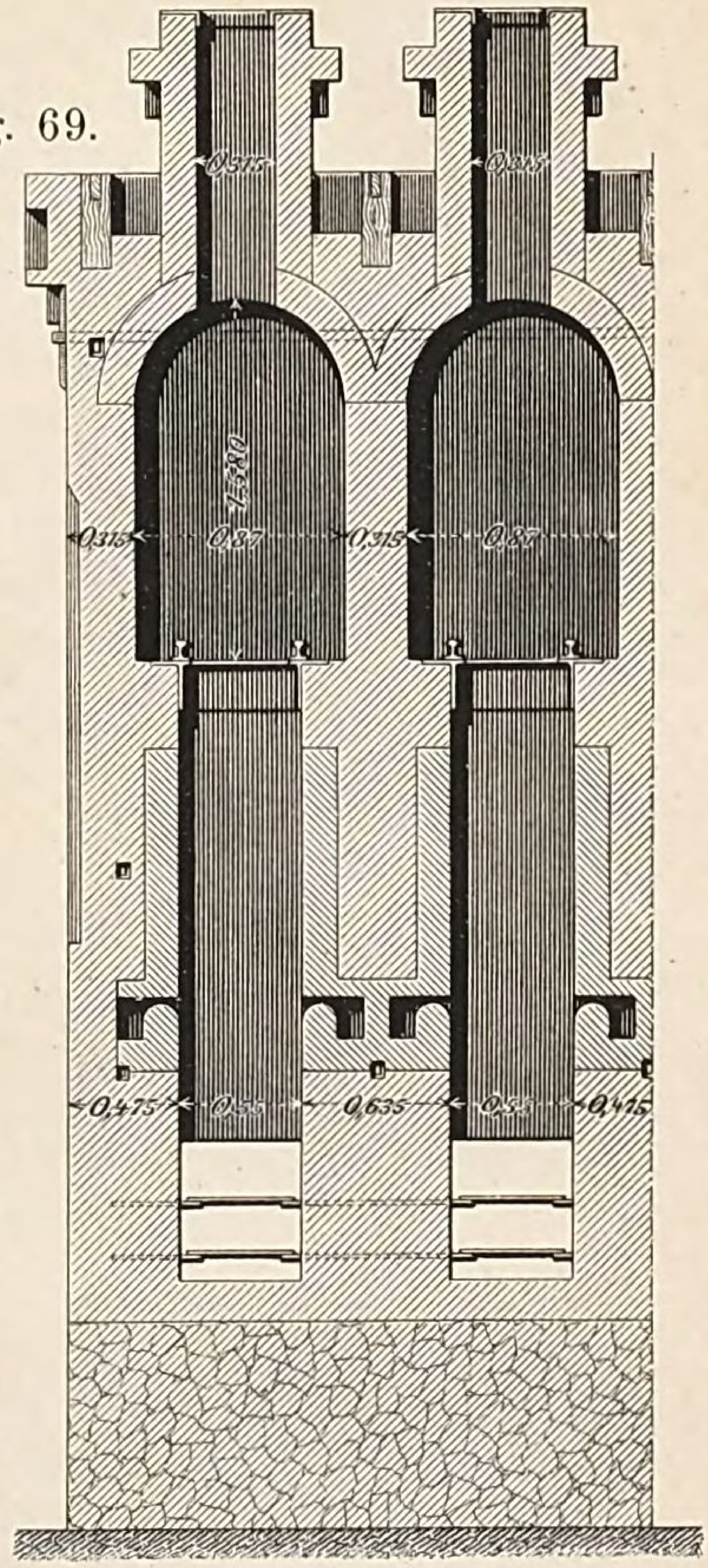
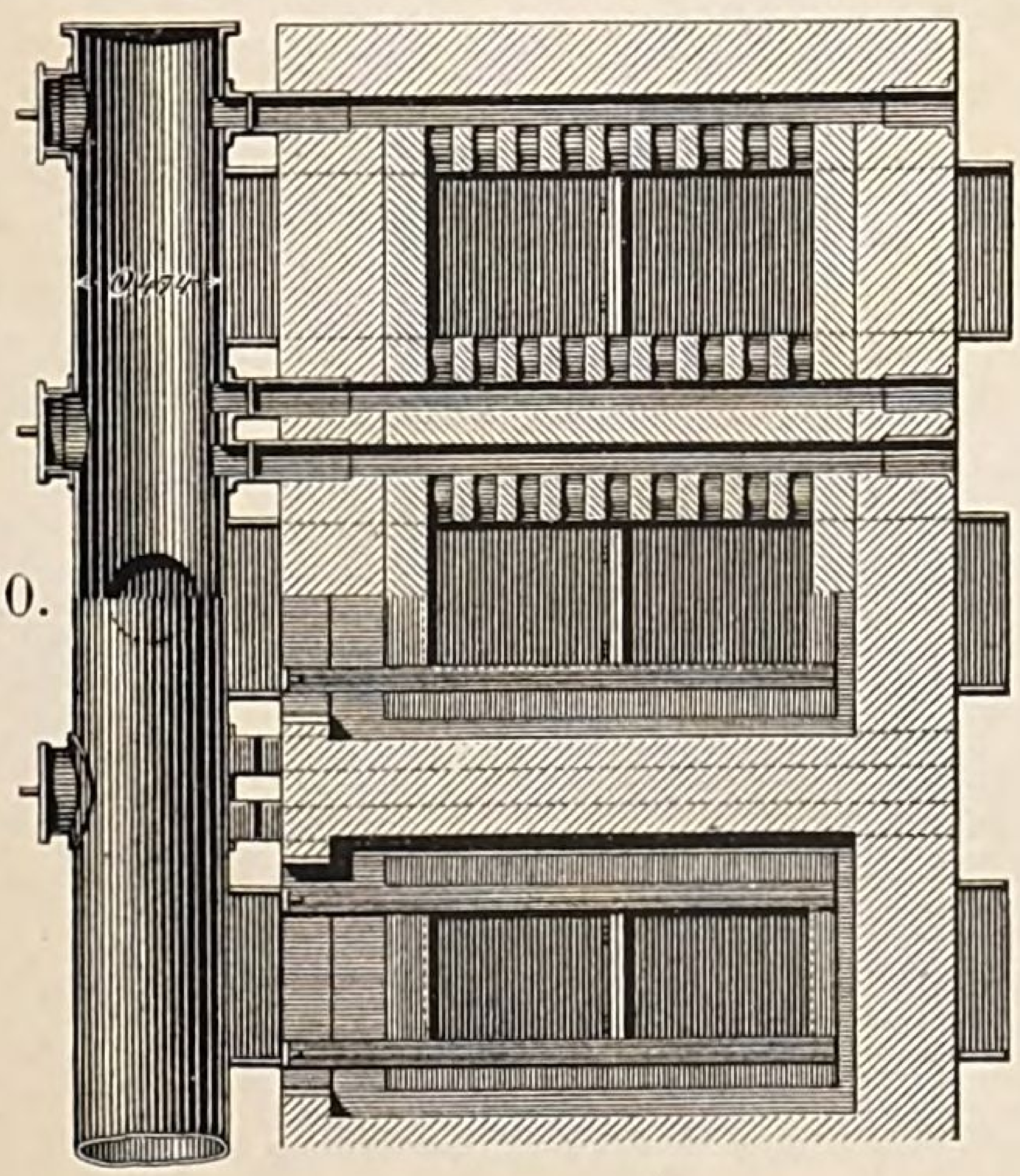


Fig. 70.



Gasröstofen
für Spatheisenerze.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Abbildungen Fig. 68 bis 70 zeigen die Einrichtung der auf einem Eisenwerke Kärntens in Benutzung befindlichen derartigen Oefen. Der Schacht ist vierseitig prismatisch, ungefähr 0,550 m breit, 1,250 m lang und im Ganzen nur 2,750 m hoch. Die Einrichtung der Ausziehöffnungen ist ähnlich wie bei dem in Fig. 65 abgebildeten Röstofen; reichlicher Luftzutritt wird durch die Anordnung der Treppenroste an beiden Schmalseiten ermöglicht. Mehrere gleiche Oefen sind zu einer Reihe verbunden. Das Gas strömt durch das in Fig. 68 und 70 sichtbare Hauptrohr zu und gelangt aus diesem in wagerechte Kanäle an beiden Längsseiten der Oefen, um von hier durch je neun Schlitze an jeder Längsseite in den Ofen einzutreten, wo die Verbrennung durch die von unten aufsteigende, durch die abgerösteten Erze vorgewärmte Luft bewirkt wird. Die Art und Weise, wie das Einfüllen der Erze geschieht, ist in Fig. 68 erkennbar. Der Raum oberhalb der Gicht, in welchem der in Fig. 68 gezeichnete Erzwagen sich befindet, ist durch eine Thür verschlossen, welche nur während des Beschickens geöffnet wird, und eine kleine Esse oberhalb dieses Raums dient zur Verstärkung des Luftzugs. Ein solcher Ofen röstet täglich 2 bis 3 t Erz.

Zum Rösten des Kalksteins für das Thomas- und basische Martinverfahren, in einzelnen Fällen auch zum Rösten von Eisenerzen, wo solche regelmässig in grossen Mengen geröstet werden müssen, bedient man sich auf einigen Eisenwerken der von Hoffmann und Licht in den sechziger Jahren dieses Jahrhunderts erfundenen, ursprünglich zum Brennen von Ziegeln bestimmten, jedoch auch zum Brennen von Kalkstein bewährten Ringöfen. Ein solcher Ringofen besteht aus mehreren, gewöhnlich 10—24, unter einander verbundenen Kammern, deren Einrichtung in $^1/_{200}$ der wirklichen Grösse in den Abbildungen Fig. 71 u. 72 a. f. S. im Grund- und Aufrisse (Schnitt nach der Linie *ABC*) dargestellt ist. Die einzelnen Kammern sind im Grundrisse mit 1—10 bezeichnet; sie lassen sich von einander durch senkrechte Schieber trennen, welche durch Schlitze in der Decke sich aufziehen lassen und in der Abbildung durch Linien in Punkten angedeutet sind. Jede Kammer besitzt eine nach aussen mündende Thüröffnung, welche während des Heizens vermauert wird, und steht durch einen Bodenkanal mit der in der Mitte befindlichen Rauchkammer (im Aufrisse mit *r* bezeichnet) in Verbindung, von welcher ein ebenfalls im Boden angebrachter Kanal nach der seitlich stehenden Esse führt. Im Grundrisse sind die einzelnen Kanäle durch Linien in Punkten bezeichnet, im Aufrisse ist links einer der Bodenkanäle zwischen der Heiz- und Rauchkammer, rechts der Essenkanal sichtbar. Die Mündung eines jeden der Bodenkanäle in der Rauchkammer ist mit einem Verschlussdeckel versehen, welcher mit Hülfe einer Stange von der Decke des Ofens aus bewegt werden kann (im Aufrisse erkennbar). In der Decke jeder Kammer befinden sich ungefähr 15, zum Einstreuen des Brennstoffs bestimmte und durch einen Deckel verschliessbare Oeffnungen (im Aufrisse sind in jeder Kammer je drei dieser Oeffnungen sichtbar). Als Brennstoff pflegt man Stein- oder Braunkohle zu benutzen.

Während des Betriebes, welcher ununterbrochen stattfindet, ist nur einer der Schieber eingesetzt, die übrigen sind offen. Wenn z. B. der Schieber zwischen den Kammern 1 und 10 eingesetzt ist, so sind

die Thüren der Kammern 1 und 2 geöffnet, alle übrigen vermauert. In der Kammer 1 wird frischer Kalkstein eingesetzt, aus der Kammer 2

Fig. 71.

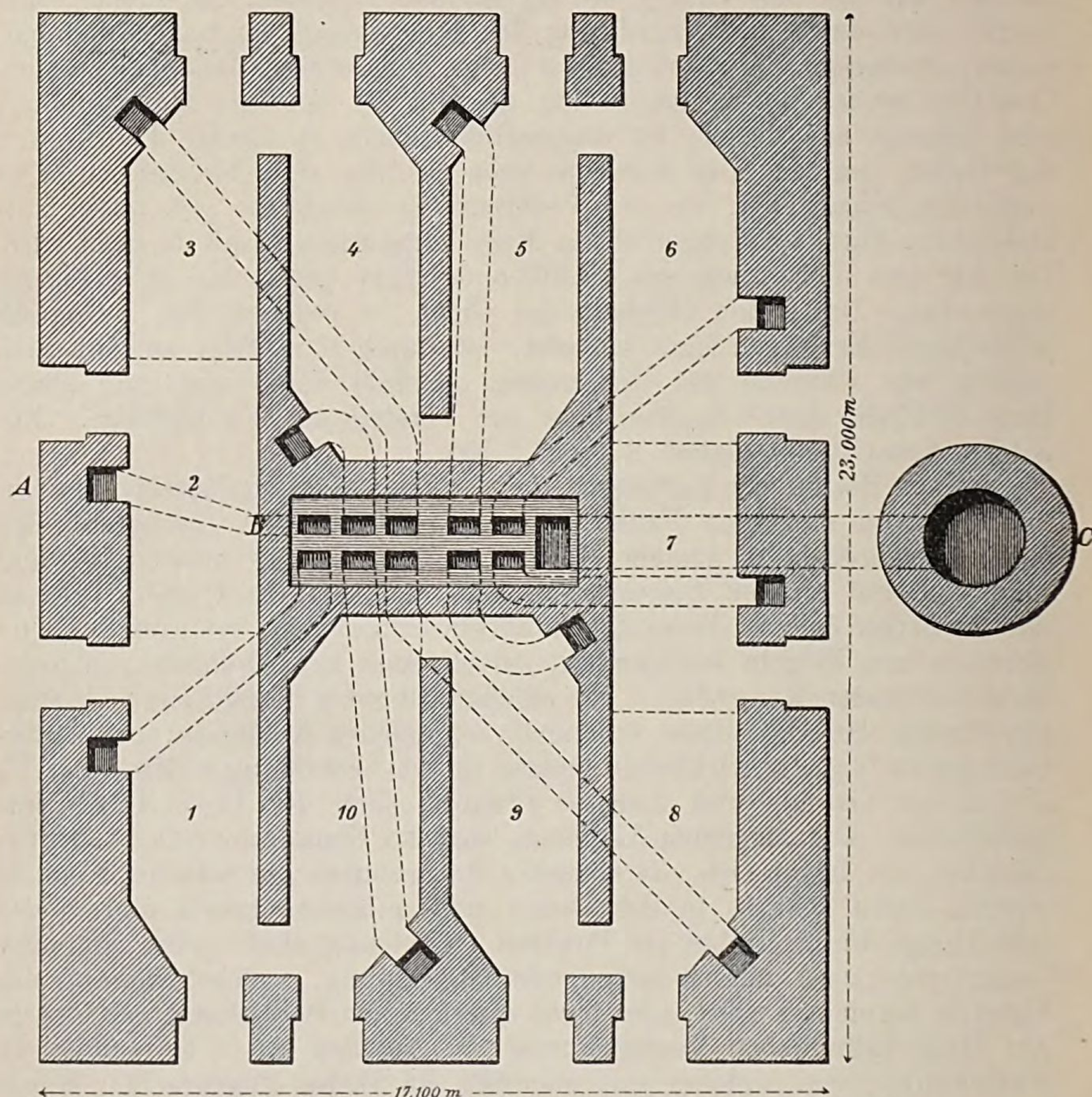
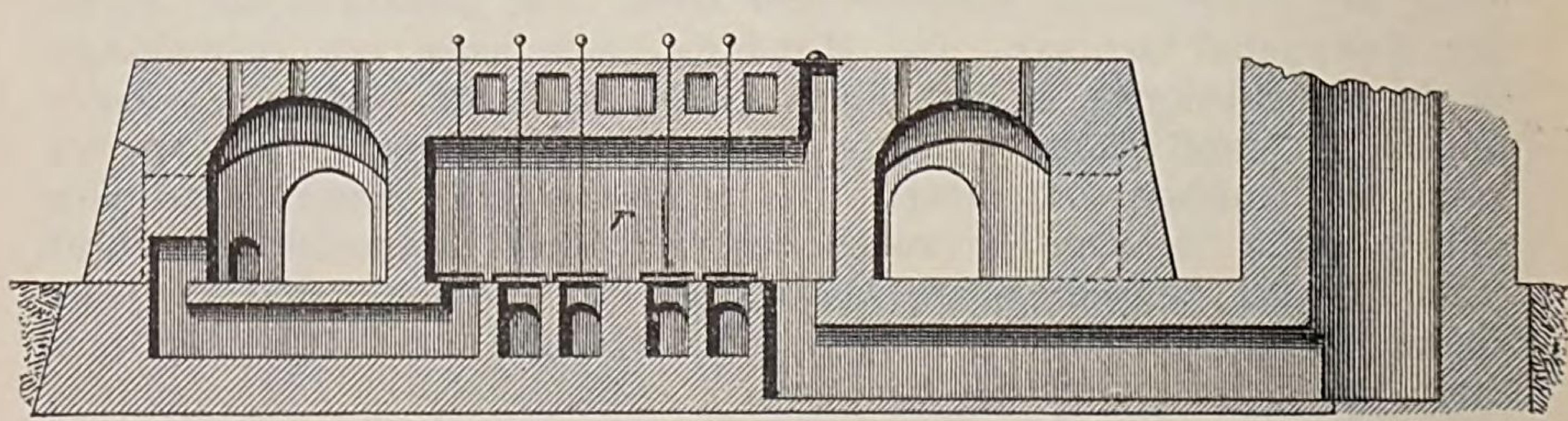


Fig. 72.



wird der fertig gebrannte Kalk ausgebracht, durch die Deckenöffnungen der Kammer 5 wird der Brennstoff eingestreut. Der Rauchkanal der

Kammer 10 ist geöffnet, ebenso der Essenkanal (welcher stets offen bleibt), alle übrigen Rauchkanäle sind geschlossen. Die Verbrennungsluft tritt demnach durch die geöffneten Thüren der Kammern 1 und 2 ein, streicht durch den in den Kammern 3 und 4 befindlichen, bereits gebrannten Kalk hindurch, diesen abkühlend und die aufgenommene Wärme mitnehmend, und trifft in der Kammer 5 auf den dort eingestreuten Brennstoff. Die heissen Verbrennungsgase durchziehen die mit Kalkstein gefüllten Kammern 6, 7, 8, 9 und 10, um aus letzterer in die Rauchkammer und von hier nach der Esse zu entweichen. Nach bestimmter Zeit, gewöhnlich nach 24 Stunden, nachdem inzwischen die Füllung der Kammer 1 und die Entleerung der Kammer 2 beendet, die Thüröffnung der Kammer 1 aber vermauert ist, wird der Schieber zwischen 1 und 10 herausgenommen, der Schieber zwischen 1 und 2 eingesetzt und die Kammer 1 mit der Rauchkammer in Verbindung gesetzt, der Rauchkanal der Kammer 10 dagegen geschlossen, so dass die Gase nunmehr durch 1 abziehen müssen. Das Einstreuen des Brennstoffs erfolgt in 6; die Kammer 3 wird geöffnet und entleert, in 2 wird frischer Kalkstein eingesetzt. Später schliesst man den Schieber zwischen 2 und 3, lässt die Gase aus 2 abziehen, setzt in 3 frischen Kalkstein ein, entleert 4 u. s. f. Die Einrichtung ermöglicht die Zurückführung eines reichlichen Theils der von den gerösteten Körpern aufgenommenen Wärme durch die zuströmende Verbrennungsluft und eine günstige Ausnutzung der von den Gasen mitgeführten Wärme, indem man die Gase, dem Gegenstromgesetze gemäss, mit immer kälteren Theilen in Berührung bringt. Ein Ofen in den Abmessungen der Abbildungen liefert in 24 Stunden 35 bis 40 t gebrannten Kalk und gebraucht zur Erzeugung von 1 t gebranntem Kalk 160 bis 200 kg Steinkohlen. Der Arbeitslohn für 1 t gebrannten Kalk beträgt etwa 2,50 ℳ. Ueber die Betriebsergebnisse beim Rösten von Erzen ist bislang nichts Näheres bekannt geworden.

Den Vortheilen des Ringofens steht der Umstand gegenüber, dass seine Anlagekosten sehr erheblich sind und er seiner Einrichtung gemäss nur für ununterbrochenen Betrieb und eine Erzeugung im Grossen benutzbar ist. Auch die Löhne sind höher als bei Schachtöfen.

Betrieb und Betriebsergebnisse der Röstöfen.

Die Inbetriebsetzung eines kalt liegenden Ofens bietet keine Schwierigkeiten. Man bringt zu unterst eine Lage leicht entzündlichen Brennmaterials, setzt dieses in Brand, schüttet Kohlen nach, dann, wenn diese glühen, Erze u. s. f., bis der Ofen gefüllt ist. Je höher der Ofen ist, und je dichter die Erze liegen, desto allmählicher geht man mit dem Füllen zu Werke, damit das Feuer nicht erstickt werde. Auch bei Oefen mit Gasfeuerung bringt man zunächst in die Nähe der Einströmungsöffnungen Holzstücke und dergleichen, in die Mitte Erzstücke, darüber wieder Erz mit Kohle gemengt, bis der Ofen etwa zu einem Drittel oder der Hälfte gefüllt ist. Alsdann wird das Holz entzündet und der Ofen allmählich weiter gefüllt. Erst wenn im unteren Theile des Ofens bei dieser Art der Feuerung Rothgluth entstanden ist, wird das Gas zugelassen, worauf nun der Betrieb seinen regelmässigen Ver-

lauf nimmt. In gewissen Zeitabschnitten, gewöhnlich alle 6 bis 12 Stunden, bei Gasröstöfen noch häufiger (1 bis 3 Stunden), wird eine bestimmte Menge gerösteten Erzes herausgeholt — „gezogen" —, die darüber befindlichen Erze rücken zur Ausfüllung des entstandenen leeren Platzes abwärts, und man füllt in die Gicht frisches Erz nach. Verwendet man Kohlen als Brennstoff, so werden diese zu unterst und die Erze darauf geschüttet in Lagen, deren Stärke von der Grösse der Oefen wie der Beschaffenheit der Erze abhängig ist.

Die Verbrennung schreitet bei Anwendung festen Brennstoffs von unten nach oben hin fort, „das Feuer steigt auf", und beim neuen Ziehen pflegt auch die oberste Kohlenschicht bereits in's Glühen gekommen zu sein, wenn der Ofen nicht sehr hoch ist. Bei Gasröstöfen bleibt die Verbrennung dagegen auf den gleichen Raum beschränkt, so lange die Gas- und Luftzuführung sich nicht ändert.

In Oefen, welche leicht eine höhere Temperatur entwickeln, und bei Erzen, welche zum Sintern geneigt sind, kann es geschehen, dass durch das Zusammenbacken der Erze Versetzungen entstehen und förmliche Gewölbe sich bilden, welche das Nachrücken der darüber befindlichen Erze unmöglich machen. In diesem Falle ist es, wie bereits erwähnt wurde, erforderlich, diese Versetzungen mit Stangen loszustossen, zu „stören", um den Ofen im Betriebe zu erhalten, und man bringt zu diesem Zwecke in einiger Höhe über den Lufteinströmungsöffnungen die ebenfalls schon erwähnten Störräume an.

In der geschilderten Weise kann ein Röstofen ununterbrochen im Betriebe erhalten werden, bis er etwa infolge der allmählichen Abnutzung ausbesserungsbedürftig geworden ist.

Dass die Wartung eines Röstofens, in welchem zum Zwecke der vollständigen Entschweflung Sintertemperatur herrschen muss (beim Rösten schwedischer Magneteisenerze), grössere Schwierigkeiten verursacht und grössere Umsicht erheischt, als die Wartung eines gewöhnlichen Röstofens, ist leicht begreiflich.

Ueber den Betrieb der Ringöfen wurde bei deren Beschreibung bereits das Nothwendigste mitgetheilt.

Die Betriebsergebnisse der Röstöfen sind verschieden nach der Beschaffenheit der zu röstenden Erze oder Zuschläge und dem Zwecke, den man mit der Röstung verbindet. Ueber die Betriebsergebnisse der oben beschriebenen Röstöfen ist bereits im Anschlusse an die Beschreibungen einiges Nähere mitgetheilt.

Sehr verschieden ist die Leistung der Röstöfen, d. h. die Menge des von ihnen in bestimmter Zeit gelieferten Röstguts. Sie ist zwar zum grossen Theile von seinem Rauminhalte abhängig; aber auch die Beschaffenheit der zu röstenden Erze, die Art der Feuerung und selbst der Bedarf an geröstetem Erz sprechen hierbei mit. Erfahrungsmässig lässt sich der Betrieb der meisten Röstöfen, insbesondere der mit festen Brennstoffen geheizten, innerhalb ziemlich weiter Grenzen beschleunigen oder verlangsamen, je nachdem es der Betrieb verlangt, ohne dass andere Nachtheile daraus erwachsen, als vielleicht ein bei allzu raschem Betriebe etwas erhöhter Brennstoffaufwand. So erklärt es sich, dass, während bei zahlreichen Oefen die täglich verarbeitete Erzmenge für 1 cbm Rauminhalt des Ofens nicht über 400 bis 450 kg hinausgeht,

andere Oefen die vierfache Leistungsfähigkeit besitzen, sofern man einen etwas höheren Aufwand an Brennstoff nicht zu scheuen braucht.

Der Brennstoffverbrauch zum Rösten von 1 t rohem Erz pflegt 30 bis 50 kg Kleinkohle zu betragen. Kohleneisensteine rösten sich selbst ohne fremden Brennstoffaufwand und können, wenn ihr Kohlenstoffgehalt hoch ist, sogar noch zum Rösten anderer Erze mit benutzt werden. Beträchtlich höher als der Brennstoffverbrauch zum Erzrösten ist derjenige, welcher zum vollständigen Brennen von Kalkstein erfordert wird. Der Grund liegt in dem hohen zur Zersetzung des Calciumcarbonats erforderlichen Wärmeverbrauche.[1]) Man gebraucht zum Rösten von 1 t rohen Kalksteins 100 bis 130 kg Kohlen. Spatheisensteine und Sphärosiderite verlieren beim Rösten im Mittel 25 v. H., Kalksteine 40 v. H. ihres ursprünglichen Gewichts; will man den Brennstoffverbrauch auf das Gewicht der gerösteten Stoffe beziehen, so würden die obigen Ziffern darnach umzurechnen sein. Magneteisenerze pflegen ihr Gewicht nicht erheblich zu ändern; Brauneisenerze werden um so viel leichter, als ihr Wassergehalt beträgt.

d) Kennzeichen gut gerösteter Erze.

Da die Temperatur nur in Ausnahmefällen bis zum Sintern der Erze steigen darf, pflegt das Vorkommen zusammengebackter verschlackter Stücke ein Zeichen mangelhafter Röstung zu sein.

Die Farbe der gerösteten Erze muss, da bei der Röstung Eisenoxyd gebildet werden soll, roth sein, und im Allgemeinen lässt sich ein Erz als um so besser geröstet betrachten, je deutlicher, gleichmässiger dieses Roth hervortritt. Nur jene Erze, welche zum Zwecke einer völligen Entschweflung bis zum Sintern erhitzt wurden, machen hiervon eine Ausnahme; sie zeigen gewöhnlich eine blaugraue Farbe, welche ebensowohl dem Eisenoxyduloxyd als dem geschmolzenen Eisenoxyd eigenthümlich ist.

Zerschlägt man ein Stück gerösteten Erzes, so muss, wenn die Röstung durchaus gut gelungen war, das Innere dasselbe Aussehen zeigen wie die Oberfläche; zeigt sich ein Kern, dessen Beschaffenheit an diejenige des ungerösteten Erzes erinnert, so war die Zeitdauer der Röstung zu kurz. Dass es jedoch um so schwieriger ist, die Wirkungen des Röstens gleichmässig bis auf das Innere der Erzstücke auszudehnen, je grösser deren Durchmesser ist, und dass aus diesem Grunde eine der Röstung voraufgehende Zerkleinerung zweckmässig sein kann, wurde schon erwähnt.

Das Zerschlagen der gerösteten Erzstücke muss ohne Schwierigkeit von statten gehen; einzelne Erze, insbesondere die Carbonate, lassen sich nach gut gelungener Röstung häufig schon mit der Hand in kleinere Stücke zerbrechen.

D. Das Verwittern und Auslaugen.

In früheren Jahrzehnten, als der Erzbedarf der Hochofenwerke erheblich geringer und die Eisenpreise höher als jetzt waren, liess man

1) Vergleiche die Fussanmerkung 1 auf Seite 31.

die Erze, und zwar vorwiegend die gerösteten, nicht selten mehrere Jahre im Freien lagern, um sie dadurch geeigneter für die Verhüttung zu machen. Die Vorgänge, welche die beabsichtigte Verbesserung der Erzbeschaffenheit hierdurch erreichen lassen, sind theils physikalischer, theils chemischer Natur.

Unter dem Einflusse von Sonne und Feuchtigkeit, welche letztere in das Innere der Erzstücke eindringt, bekommen diese, auch die ungerösteten, feine Risse, werden zugänglicher für die reducirenden Gase und lassen sich leichter zerkleinern. Einzelne Erze trennen sich hierbei von ihrer anhaftenden Gangart. Manche Sphärosiderite aus der Steinkohlenformation kommen mit fest anhaftendem Thonschiefer aus der Grube; beim längeren Lagern an der Luft blättert er ab. Nach Percy wurden früher in Südwales manche Erze regelmässig diesem Verfahren unterzogen, um eine kostspieligere Aufbereitung zu ersparen. In kälteren Klimaten werden durch Frostwetter diese Vorgänge besonders befördert; das in die Poren eingedrungene Wasser erstarrt zu Eis und sprengt hierbei die Stücke auseinander (Ausfrieren der Erze).

Die chemischen Einflüsse des Verwitterns haben grösstentheils eine Verminderung des Schwefelgehalts der Erze zum Zwecke. Beim Rösten entstehen lösliche Sulfate (Seite 231), welche durch Regen- und Schneewasser gelöst und allmählich entfernt werden. Tritt nach längerem Regenwetter Sonnenschein ein, so gewahrt man nicht selten auf der Oberfläche solcher Erzhaufen Ausblühungen, aus Sulfaten des Eisens, Kupfers, Zinks bestehend, welche gelöst und beim Verdunsten des Wassers zurückgelassen worden waren. Auch in ungerösteten Erzen können unter dem Einflusse der Witterung aus unlöslichen Sulfiden lösliche Sulfate entstehen, welche in jener Weise entfernt werden. Besonders zugänglich für diesen Vorgang ist der Strahlkies (FeS_2), während der ebenso zusammengesetzte Schwefelkies sich als widerstandsfähiger erweist.

In der Jetztzeit sind jene Verfahren nur noch selten in Anwendung, nachdem mit der Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen ihr Erzbedarf und somit auch der Platzbedarf für längere Aufbewahrung auf ein Vielfaches des frühern Bedarfs gesteigert ist und mit der zunehmenden Verwendung mineralischer Brennstoffe für die Verhüttung auch die Aufgabe an Wichtigkeit verloren hat, die Erze zuvor einer thunlichst vollständigen Entschweflung zu unterziehen. Wo jedoch der Schwefelgehalt der Erze so beträchtlich ist, dass eine Verminderung durch ein Vorbereitungsverfahren zweckdienlich erscheint, unterwirft man sie auch jetzt noch, nachdem sie geröstet wurden, bisweilen einem künstlichen Auslaugeverfahren mit Wasser, welches rascher als die alleinige Einwirkung der atmosphärilischen Niederschläge zum Ziele führt.

In besonders umfänglicher Weise wurde mehrere Jahrzehnte hindurch das Auslaugen auf dem Eisenwerke zu Kladno in Böhmen betrieben. Man verhüttet dort Brauneisenerze, welche im rohen Zustande etwa 0,5 v. H. Schwefel, nach dem Rösten immerhin noch etwa 0,35 bis 0,40 v. H. Schwefel enthalten. Zur weiteren Abminderung dieses Schwefelgehalts unterwarf man sie einem regelmässig geleiteten Auslaugen mit Wasser in gemauerten, oben offenen, mit Cement ausgekleideten Behältern von 22 m Länge, 15,5 m Breite, 2 m Tiefe. Je vier solcher

im Rechteck zusammenliegender Behälter bildeten zusammen eine Gruppe derartig, dass das Wasser, welches am Boden eintrat und am Rande der gegenüberliegenden Seite wieder abfloss, von dem einen in den andern Behälter hinübergeleitet wurde, wobei das frisch zugeleitete Wasser stets die am längsten ausgelaugten Erze traf. Durch Bestimmung des Schwefelsäuregehalts in dem zuletzt abfliessenden Wasser wurde der Verlauf des Verfahrens überwacht. Der beim Eindampfen des Laugwassers bleibende Rückstand enthielt durchschnittlich:

Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	SO_3	P_2O_5	H_2O
0,57	0,61	1,51	13,28	12,28	50,60	0,14	21,09.

Der Schwefelgehalt der ausgelaugten Erze betrug noch etwa 0,15 v. H. Der Erfolg des Verfahrens an und für sich war demnach befriedigend, aber die Vertheuerung, welche die Erze erfuhren, jedenfalls nicht unerheblich, und da man die Erze mit Koks verhüttete, stand der erreichbare Nutzen nicht hiermit im Einklange. Man hat das Verfahren später eingestellt.

Ursprünglich (in den siebenziger Jahren dieses Jahrhunderts) war die beschriebene Kladnoer Einrichtung auch zur Entphosphorung der Eisenerze bestimmt, wobei man verdünnte Säuren als Lösungsmittel für die vorhandenen Phosphate benutzte.[1]) Durch die Einführung neuerer, in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochener Verfahren des Eisenhüttenbetriebes, welche es ermöglichen, auch dem fertigen Eisen seinen Phosphorgehalt beinahe vollständig zu entziehen, ist auch die vorausgehende Entphosphorung der Eisenerze entbehrlich geworden.

E. Die elektromagnetische Aufbereitung.

Zu den vielseitigen, in der Neuzeit entwickelten Zweigen der Elektrotechnik gehört auch die seit etwa einem Jahrzehnt eingeführte Anreicherung armer Eisenerze durch die Abscheidung ihrer tauben Gesteine. Das Wesen des Verfahrens beruht darin, dass die zuvor zu Pulver zerkleinten Erze bei starken Elektromagneten vorbeigeführt werden, wobei die reicheren Theile angezogen werden, die armen unbeeinflusst bleiben. Die Anordnung der Magnete ist verschieden. Bei einigen Anlagen befinden sie sich auf dem Umfange einer umlaufenden Walze und nehmen die angezogenen Theile mit, welche dann durch Bürsten an einer andern Stelle abgestreift werden; in anderen Fällen wird ein dünner Strom des feinzerkleinten Erzes vor feststehenden Magneten vorbeigeführt und hierdurch eine Ablenkung aller der magnetischen Anziehungskraft unterworfenen Theilchen aus ihrer Richtung bewirkt, so dass zwei getrennte Ströme entstehen, welche in besonderen Behältern gesammelt werden können.

Ursprünglich glaubte man, dass nur die Magneteisenerze und die durch Röstung in Eisenoxyduloxyd verwandelten Erze für das Verfahren benutzbar seien. Spatheisensteine wurden, um jene Verwandlung zu erleiden, bei beschränktem Luftzutritt, Rotheisenerze im redu-

1) Näheres hierüber in den unter Litteratur genannten Abhandlungen.

cirenden Gasstrome geröstet.[1]) Durch Wetherill wurde jedoch der Beweis geliefert, dass sämmtliche Eisenerze auch ohne vorbereitende Röstung dem Verfahren unterzogen werden können, wenn man ein hoch concentrirtes magnetisches Feld anwendet, durch welches auch die schwach permeabeln Stoffe bei dem Vorbeigehen eine geringe Ablenkung aus ihrer Bewegungsrichtung erfahren.[2])

In verschiedenen Bezirken, wo arme Eisenerze gewonnen werden, ist die magnetische Aufbereitung eingeführt worden. Hinsichtlich der Einzelheiten der angewendeten Verfahren, welche nicht in das Gebiet der eigentlichen Eisenhüttenkunde, sondern in das der Aufbereitungslehre gehören, muss auf die unten gegebene Litteratur verwiesen werden. Einer allgemeinern Anwendung stehen theils die hohen Kosten einer solchen Aufbereitungsanstalt, theils der Umstand entgegen, dass die Erze sich in einem feinzerkleinten Zustande befinden müssen, welcher ihre spätere Verhüttung erschwert. Man ist gezwungen, sie durch ein nachfolgendes Verfahren zu Ziegeln zu formen, wenn man grössere Mengen davon verarbeiten will; dass aber die Ergebnisse hierbei nicht immer befriedigend sind, wurde schon früher (Seite 219) erwähnt.

Litteratur.

a) Einzelne Werke.

E. F. Dürre, Die Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 7—199 (Vorkommen und Zusammensetzung sowie Vorbereitung der Erze und Zuschläge).

A. v. Kerpely, Die Anlage und die Einrichtung der Eisenhütten, S. 278, 315, 351 (Vorrichtungen zum Zerkleinern, Waschen, Rösten).

Ueber Aufbereitung.

P. Rittinger, Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Berlin 1867, S. 24 ff. (Poch- und Walzwerke, Wäschen).

C. Linkenbach, Die Aufbereitung der Erze. Berlin 1887.

Haton de la Goupillière, Grundriss der Aufbereitungskunde. Deutsch von Viktor Rauscher. Leipzig 1886.

O. Bilharz, Die mechanische Aufbereitung von Erzen. Leipzig 1896.

Ludwig Kirschner, Grundriss der Erzaufbereitung. Leipzig 1898.

Ueber Rösten.

R. Åkerman, Om jernmalmers rostning. Stockholm 1879. Dasselbe Werk in deutscher Uebersetzung: Das Rösten der Eisenerze. Leipzig 1880.

H. Tholander, Experimentelle Untersuchungen über die Reduction von Eisenerzen und die Wirkung der Röstung auf Magneteisensteine und Hämatite. Aus „Iron" in's Deutsche übertragen von J. v. Ehrenwerth. Wien 1878.

b) Abhandlungen.

P. W. Hofmann, Verwerthung der Schwefelkiesrückstände auf Eisen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 18, S. 522; polyt. Centralbl. 1874, S. 1477.

1) Letzteres Verfahren ist in Alabama in Anwendung gekommen. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 25 p. 400 (Phillips).

2) Wenn man die Leitfähigkeit (Permeabilität) des Stahls gleich 100000 setzt, ist nach Borchers (Zeitschrift für Elektrochemie 1896/97, Seite 377) diejenige des Magnetits gleich 65000, des Spatheisensteins 120, des Roth- und Brauneisensteins im Mittel gleich 70.

W. Stahl, Verarbeitung zinkhaltiger Kiesabbrände durch chlorirende Röstung. Berg- und hüttenmännische Zeitung 1894, S. 1.

S. Wiborgh, Verfahren zur Bestimmung der Reducirbarkeit der Eisenerze. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 804, 858.

Fr. Kupelwieser, Fortschritte der Verröstung der Eisenerze in Steiermark. Berg- und hüttenm. Jahrb. der k. k. Bergakademien, Bd. 16 (1867), S. 373.

J. v. Ruttner, Röstung und Abwässerung schwefelkieshaltiger Spatheisensteine zu Mariazell. Rittinger, Erfahrungen im berg- und hüttenmännischen Maschinenbau- und Aufbereitungswesen, Jahrg. 1868, S. 15.

E. Gruner, Grillage des minerals en Styrie et en Carinthie. Annales des mines, série 7, tome 9, p. 540 (enthält eine ausführliche Beschreibung der Röstverfahren in den österr. Alpenländern nebst Abbildungen der Oefen).

Eisenerzröstöfen (Borries Röstofen, Wagners Oefen). Berg- und hüttenm. Ztg. 1870, S. 60.

John Borrie, Röstofen für Eisenerze. Berggeist 1870, Nr. 4; polyt. Centralbl. 1870, S. 536.

Calcination. Iron, vol. 13, p. 163 (Abbildungen englischer Röstöfen).

Calcining kilns at the Ayresome Iron Works, Middlesborough. Engineering, vol. 13, p. 170.

Aufzug und Senkvorrichtung für die Röstöfen der Ayresome Iron Works. Aus Engineering 1872, p. 296 im polyt. Centralbl. 1872, S. 1181.

Devi, Raschettes Eisenerzröstofen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- u. Hüttenwesen 1875, Nr. 43; Berg- und hüttenm. Ztg. 1875, S. 419; polyt. Centralbl. 1875, S. 1475.

W. J. Taylor, An Ore roasting furnace. Transact. of the Amer. Inst. of Min. Eng., vol. 9, p. 304.

Ore roasters. Journal of the United States Association of Charcoal Iron Workers, vol. 5, p. 41, 171.

The Grittinger ore kiln. In vorstehend genannter Zeitschr. vol. 5, p. 97.

J. Birkinbine, Roasting iron ores. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 12, p. 361.

S. Jordan, Note sur la grillage des minérais carbonatés de fer et de manganèse. Revue universelle des mines, tome 31, série 3 (1895), p. 1.

E. Röhrig und R. Hass, Die Eisenerze der Bidasoa und ihre Behandlung durch Rösten und Auslaugen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1873, S. 357.

Verarbeitung von Kupferkies haltenden Spatheisensteinen auf Roheisen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1872, S. 480.

J. Zeman, Notizen aus der Adelberthütte in Kladno. (Rösten, Auslaugen.) Technische Blätter 1870, S. 149; Dinglers polyt. Journal, Bd. 198, S. 32.

J. Jacobi, Neue Methode zur Entfernung und Verwerthung der Phosphorsäure aus Eisenerzen. Bayrisches Industrie- und Gewerbeblatt 1871, S. 187; Dingler's polyt. Journal, Bd. 201, S. 245.

Gautier, Ueber das Entphosphoren der Eisenerze in Kladno. Berg- und hüttenm. Ztg. 1876, S. 8.

Anreicherungsversuche mit trockenen Erzen von Norberg. „Stahl und Eisen“ 1888, S. 822; 1889, S. 32.

Gromier, Magnetische Aufbereitung von Spatheisenstein. Aus dem Bulletin de la société de l'industrie minérale 1893, p. 465, in „Stahl und Eisen“ 1894, S. 618.

H. Wedding, Die Röstung und magnetische Aufbereitung der Spatheisenerze zu Allevard. Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleisses 1895, S. 368.

H. Wedding, Das Rösten der Eisenerze zum Zwecke der Magnetisirung. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 771; auch Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, p. 116.

W. Phillips, Notes on the magnetisation and concentration of iron-ore. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 25, p. 399.

Elektromagnetische Aufbereitung der Eisenerze. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 209.

C. Blömecke, Ueber die magnetische Aufbereitung von nicht magnetischen Mineralien. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1898, S. 148.

Stefan Farbaky, Magnetische Concentration der Folkmarer Rotheisensteine. Oesterr. Zeitschr. 1898, S. 182.

H. A. J. Wilkens and H. B. C. Nitze, The magnetic separation of nonmagnetic material. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 26 (1897), p. 351, 1089.

VII. Die metallurgische Chemie des Eisens.

1. Das reine Eisen.

Darstellung.

Ganz reines Eisen lässt sich nur sehr schwierig darstellen und die verschiedenen Verfahren, welche in chemischen Lehr- und Handbüchern dafür angegeben sind, liefern in der Regel kein reines Eisen, sondern ein solches, welches immerhin noch kleine Mengen der schon auf Seite 3 genannten Fremdkörper, daneben auch wohl von Sauerstoff, Wasserstoff oder Stickstoff enthält.

Am nächsten liegt das Verfahren der Reduction von reinem Eisenoxyd oder Eisenchlorür im reinen Wasserstoffstrome. Hinderlich ist aber hierbei der Umstand, dass es schwer ist, jene Eisenverbindungen vollständig frei von anderen Körpern zu erhalten, welche in das Metall übergehen; ferner, dass das auf solche Weise gewonnene Eisen die Form eines feinen Pulvers oder kleiner Kryställchen besitzt, welche nicht geeignet sind, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des reinen Eisens erkennen zu lassen. Wollte man versuchen, sie durch Schmelzen zu grösseren Stücken zu vereinigen, so würde es kaum zu vermeiden sein, dass das Metall aus den Verbrennungsgasen oder der Luft Sauerstoff, aus den Wänden des Schmelzgefässes sonstige Fremdkörper (Kohlenstoff, Silicium, Schwefel) aufnähme.

In den letzten Jahren hat man sich häufig des galvanischen Stroms bedient, um für wissenschaftliche Zwecke reines Eisen in zusammenhängenden Stücken aus einer geeigneten Lösung abzuscheiden. Solches Eisen enthält nun zwar fast stets Wasserstoff oder Stickstoff in gebundener Form, aber durch mässiges Glühen bei Abschluss der Luft lassen sich diese Körper entfernen. Schwieriger ist es jedoch auch hierbei, die Aufnahme kleiner Mengen Kohlenstoff, Schwefel oder sonstiger Fremdkörper zu verhindern, welche aus der Lösung oder selbst aus den Anoden in das ausgeschiedene Metall übergehen. Auf diesem Wege erhielt Osmond[1]) ein Eisen, welches noch 0,08 v. H. Kohlenstoff ent-

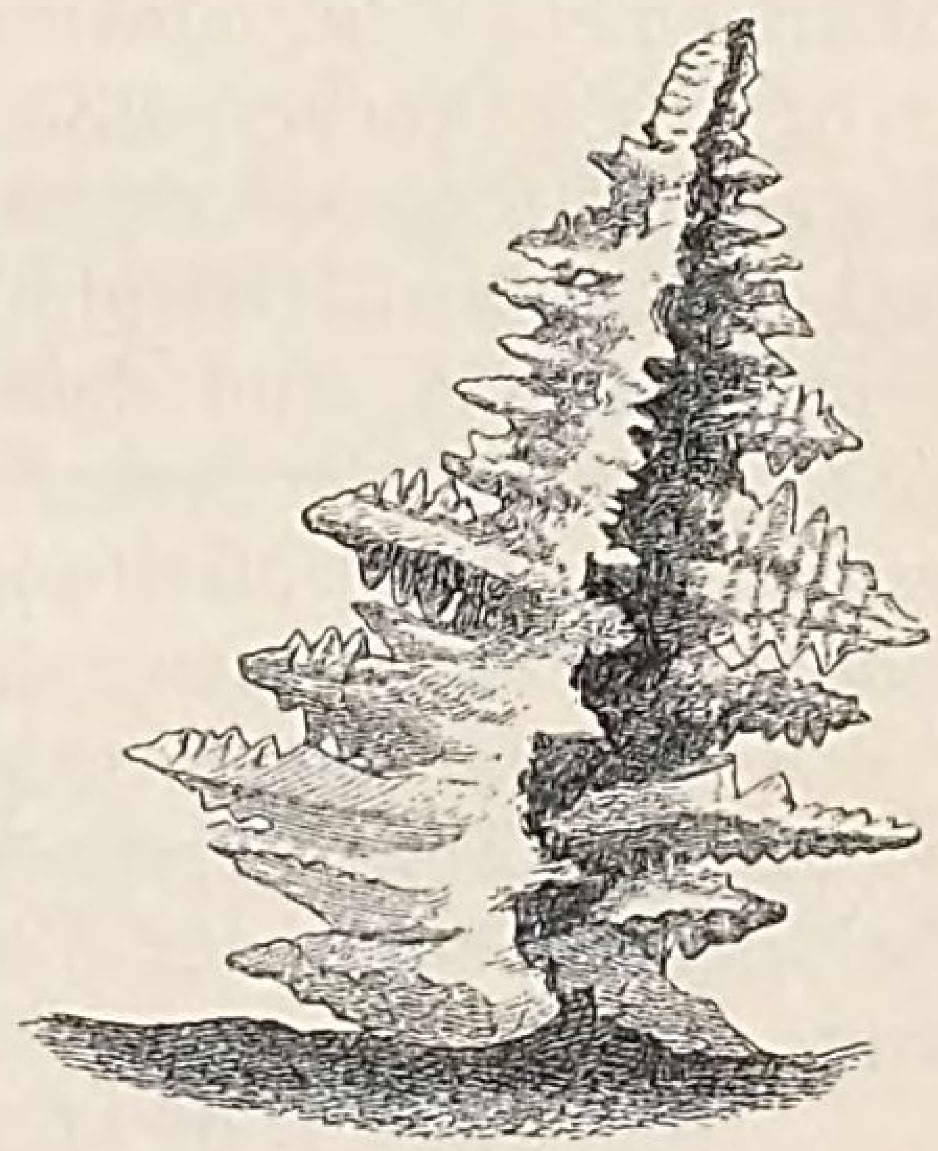
1) F. Osmond, Transformations du fer et du carbone, Paris 1888, p. 26.

hielt, Arnold[1]) ein solches mit 0,011 v. H. Kohle und 0,15 v. H. Schwefel, Roberts-Austen[2]) mit 0,007 v. H. Kohlenstoff und ebenso viel Schwefel, während Hicks und O'Shea[3]) unter Anwendung besonderer Vorsichtsmaassregeln (Abscheidung aus schwefelsäurefreier Lösung, Einschliessen der Anode in eine Thonzelle, welche den abgeschiedenen Kohlenstoff zurückhielt, u. a.) ein Eisen erhielten, in welchem weder Kohle, noch Schwefel oder Silicium nachzuweisen waren. Solches Eisen ist spröde und nimmt, abweichend von dem gewöhnlichen weichen Eisen, bleibenden Magnetismus an. Glüht man es und lässt es langsam abkühlen, so verliert es sowohl seine Sprödigkeit als die Fähigkeit, bleibend magnetisch zu werden.

Krystallform.

Stellt man reines Eisen durch Reduction von Eisenchlorür im Wasserstoffstrome dar, so lassen sich bisweilen deutlich ausgebildete Würfel erkennen. In Drusen des gewerblich dargestellten, aus dem flüssigen in den festen Zustand übergegangenen Eisens finden sich, sofern das Metall nicht etwa Mangan, Chrom, Phosphor oder einige andere Körper in grösserer Menge enthält, ziemlich regelmässig Krystalle, welche ebenfalls dem regelmässigen Krystallsysteme angehören, jedoch oktaëdrische Bildungen sind. Sie erscheinen niemals in vollkommener Ausbildung, sondern sie bestehen aus Gerippen, deren Umrisse das regelmässige Oktaeder erkennen lassen, und welche nur aus rechtwinkligen Balken erster, zweiter und dritter Ordnung mit abnehmenden Graden der Vollkommenheit zusammengesetzt sind.[4]) Fig. 73 zeigt das gewöhnliche Aussehen dieser Krystalle, die man einer gewissen Aehnlichkeit mit der Form eines Tannenbäumchens halber wohl als „Tannenbaumkrystalle“ bezeichnet. Am häufigsten und grössten (mitunter mit einem Durchmesser von mehreren Centimetern) finden sie sich in Drusenräumen des grauen Roheisen, deren Wände oft vollständig mit diesen Krystallen bedeckt sind; aber auch im weissen Roheisen, sofern es nicht sehr kohlenstoffreich ist, und im gegossenen schmiedbaren Eisen lassen sie sich, obschon sie hier selten die Grösse wie im grauen Roheisen erreichen, theils mit unbewaffnetem Auge, theils mit der Lupe oder dem Mikroskope deutlich erkennen. Obgleich die chemische Untersuchung dieser Krystalle annähernd den gleichen Gehalt an Fremdkörpern nachzuweisen pflegt wie im Muttereisen, pflegt man doch die beschriebene

Fig. 73.



1) Journal of the Iron and Steel Institute 1894 I, p. 33.

2) Ebenda 1887 I, p. 71.

3) W. M. Hicks and L. T. O'Shea, On the production of pure iron by electrolysis. Extracted from the Commemoration Volume of the University College, Sheffield 1897, p. 32.

4) A. Knop, Molekularconstitution und Wachsthum der Krystalle, Leipzig 1867, Seite 68.

Krystallform als die des reinen, vorher flüssig gewesenen Eisens zu betrachten. Man nimmt hierbei an, dass eben, wo die Krystalle sich bilden, der Gehalt an Fremdkörpern nicht ausreichend gewesen sei, Aenderungen der Krystallform des reinen Eisens zu bewirken.

Auffallender Weise pflegt das auf galvanischem Wege erzeugte Eisen aus prismatischen kleinen Krystallen zu bestehen, welche rechtwinklig gegen die Kathode gerichtet sind.[1]

Verhalten beim Erwärmen und Abkühlen. Schmelztemperatur.

Erwärmt man reines oder annähernd reines Eisen durch gleichmässige Wärmezuführung, so zeigt sich zunächst bei etwa 750° C., dann bei etwa 850° C. eine deutliche Verzögerung der Temperaturzunahme; lässt man das auf 900° C. oder darüber erhitzte Eisen allmählich abkühlen, so tritt bei annähernd denselben, gewöhnlich etwas niedrigeren Temperaturen eine Verzögerung der Temperaturabnahme, nicht selten sogar eine selbstthätige Wiedererwärmung ein. Offenbar wird in jenen Temperaturen, welche man kritische Temperaturen oder Haltepunkte genannt hat, während der Erwärmung eine gewisse Wärmemenge für einen andern Vorgang verbraucht, und beim Erkalten wird diese verbrauchte oder zuvor gebundene Wärme wieder frei. Fernere Untersuchungen haben ergeben, dass während des Erwärmens bei dem untern Haltepunkte (750° C.) das Eisen seine magnetische Eigenschaft verliert, und dass bei dem obern Haltepunkte (850°) das Gesetz, nach welchem der elektrische Widerstand des Eisens mit der Temperatur zunimmt, ausser Geltung tritt, während bei der Abkühlung des über 850° erhitzten Eisens die ursprünglichen Eigenschaften zurückkehren.[2]

Welche Aenderungen die Zahl und Lage der Haltepunkte erfährt, wenn das Eisen Fremdkörper, insbesondere Kohlenstoff, enthält, wird bei Besprechung der Vereinigungen des Eisens mit Kohlenstoff Erörterung finden.

Bei etwa 1500° C. oder wenig darüber liegt die Schmelztemperatur des reinen Eisens.[3]

Härte und Festigkeitseigenschaften. Einfluss des Ablöschens und der Bearbeitung.

Reines oder annähernd reines Eisen ist, zumal wenn es zuvor geglüht wurde, verhältnissmässig weich, so dass man mit einem Messer Spänchen davon lostrennen kann, und geschmeidig, d. h. es erträgt sowohl im kalten wie im glühenden Zustande ohne Schwierigkeit ziemlich erhebliche Formveränderungen. Seine Festigkeit übertrifft diejenige der meisten übrigen für Anfertigung von Gebrauchsgegenständen verwendeten Metalle (des Goldes, Silbers, Kupfers, Platins u. a.), ist aber von der vorausgegangenen Bearbeitung und von sonstigen Neben-

1) Sowohl Osmond als Hicks und O'Shea beobachteten diese Krystalle bei den von ihnen dargestellten Proben.

2) In besonders gründlicher Weise sind durch F. Osmond Untersuchungen über die erwähnten Vorgänge angestellt worden. In den unter Litteratur genannten Schriften Osmonds findet der Leser den Gang der Untersuchungen, die gefundenen Ergebnisse und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen erörtert.

3) Nach Osmond. Vergleiche „Stahl und Eisen" 1891, Seite 637.

umständen abhängig, welche auch die Festigkeit des gewerblich dargestellten, weniger reinen Eisens beeinflussen und in der dritten Abtheilung der Eisenküttenkunde ausführlicher besprochen sind.

Als mittlere Zugfestigkeit reinen Eisens kann man 30 kg auf 1 qmm des Querschnitts annehmen, sofern das geglühte Eisen in gewöhnlicher Weise, d. h. ohne künstliche Beschleunigung, abgekühlt worden war. Kühlt man jedoch das Eisen durch Eintauchen in kaltes Wasser ab, nachdem es auf Temperaturen über 600° C. erwärmt worden war, so zeigt sich eine Zunahme der Festigkeit, während die Geschmeidigkeit und die ihr verwandte Zähigkeit[1]) sich verringern. Bei einer durch Schmelzen thunlichst reinen Schweisseisens gewonnenen, alsdann ausgeschmiedeten, abgedrehten und im Stickstoffstrom erhitzten Probe, welche

C	Si	Mn	As	P	S	Cu	Al
0,07	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02,

im Ganzen demnach 0,22 v. H. Fremdkörper enthielt, beobachtete Arnold[2]) nachstehende Veränderungen der Festigkeitseigenschaften nach dem Ablöschen in eisgekühlter Kochsalzlösung bei verschiedenen Temperaturen:

Temperatur beim Ablöschen ° C.	Bruchbelastung in kg auf 1 qmm Querschnitt	Längenausdehnung in Hundertstel der ursprünglichen Länge (51 mm)	Querschnittsverringerung in Hundertstel des ursprünglichen Querschnitts
15	33,42	44,0	80,0
400	33,71	43,0	76,8
525	35,06	41,0	78,8
600	35,89	34,0	76,2
650	39,89	31,5	76,8
705	40,94	27,5	73,8
780	46,50	29,5	70,8
820	45,97	27,5	75,4
887	50,92	21,5	75,9
928	48,92	30,0	76,2

Beim Ablöschen unter 500° C. zeigte sich demnach keine deutliche Einwirkung des Ablöschens; besonders erhebliche Steigerungen der Festigkeiten wurden bei 650°, 780° und 880° C. bemerkbar. Es verdient Beachtung, dass die beiden letzteren dieser Temperaturen mit denjenigen ziemlich genau zusammenfallen, welche oben als Haltepunkte oder kritische Temperaturen bezeichnet wurden. Die beobachtete Längenausdehnung nimmt stetig ab, wenn die Festigkeit zunimmt, geringer sind die Aenderungen, welche in dem vorliegenden Falle die Querschnittsverringerung der Probestäbe erlitt.

1) Man kann Zähigkeit als das Maass des Widerstandes bezeichnen, welchen ein Körper nach dem Ueberschreiten der Elasticitätsgrenze dem Bruche entgegensetzt. Der Gegensatz ist Sprödigkeit. Zähe Körper sind gegen Erschütterungen widerstandsfähiger als spröde. Bei Festigkeitsprüfungen pflegt man die Zähigkeit durch die vor dem Bruche eintretende Formveränderung (Längenausdehnung oder Querschnittsverringerung bei Zugversuchen) zu messen.

2) Engineering vom 9. Juli 1897; daraus in „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 668.

Aehnliche Ergebnisse erhielt Charpy[1]) mit einem Eisen, welches

C	Si	Mn	P	S
0,07	0,01	0,14	Spur	0,01

enthielt und nach dem Erhitzen in kaltem Wasser abgelöscht wurde:

Temperatur beim Ablöschen	Elasticitätsgrenze in kg auf 1 qmm	Bruchbelastung in kg auf 1 qmm	Längen-ausdehnung Hundertstel	Querschnitts-verringerung Hundertstel
0	21,0	29,1	40,4	76,0
700	28,9	40,7	21,0	74,3
700	34,2	46,0	15,6	69,0
900	39,6	53,5	20,2	69,8

Der Versuch zeigt, dass mit der Festigkeit auch die Elasticitätsgrenze beim Ablöschen sich erhöht.

Dass auch die Geschwindigkeit der Abkühlung von Einfluss ist, wurde durch einen Versuch Howes[2]) dargethan, bei welchem er zwei gleiche, auf 930° C. erwärmte Proben mit

C	Mn	Si	P	S	Cu
0,022	0,000	Spur	0,007	0,014	0,100

und einer Zugfestigkeit von 34,14 kg das eine Mal in Wasser von gewöhnlicher Temperatur, das andere Mal in eisgekühlter Kochsalzlösung ablöschte. In dem erstern Falle betrug die Zugfestigkeit 36,58 kg, in dem andern Falle 47,38 kg.

Obgleich die für die erwähnten Versuche benutzten Proben in keinem Falle aus ganz reinem Eisen bestanden, sind die Aenderungen der Festigkeitseigenschaften beim Ablöschen doch zu erheblich, als dass man sie lediglich dem Einflusse der kleinen Menge anwesender Fremdkörper zuschreiben könnte.

Aehnliche Einflüsse wie durch Erhitzen und Ablöschen werden durch mechanische, eine bleibende Formveränderung bewirkende Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur hervorgerufen: die Festigkeit und Elasticitätsgrenze werden erhöht, die Geschmeidigkeit und Zähigkeit nehmen ab. Versuchsergebnisse mit ganz reinem Eisen liegen zwar auch über diesen Vorgang nicht vor; Versuche mit kohlenstoffarmem Handelseisen lassen erkennen, dass auf diese Weise eine Steigerung der Festigkeit auf das anderthalbfache Maass erreichbar ist, während die Zähigkeit sich erheblich verringert. Beispiele hiervon sind in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde gegeben.

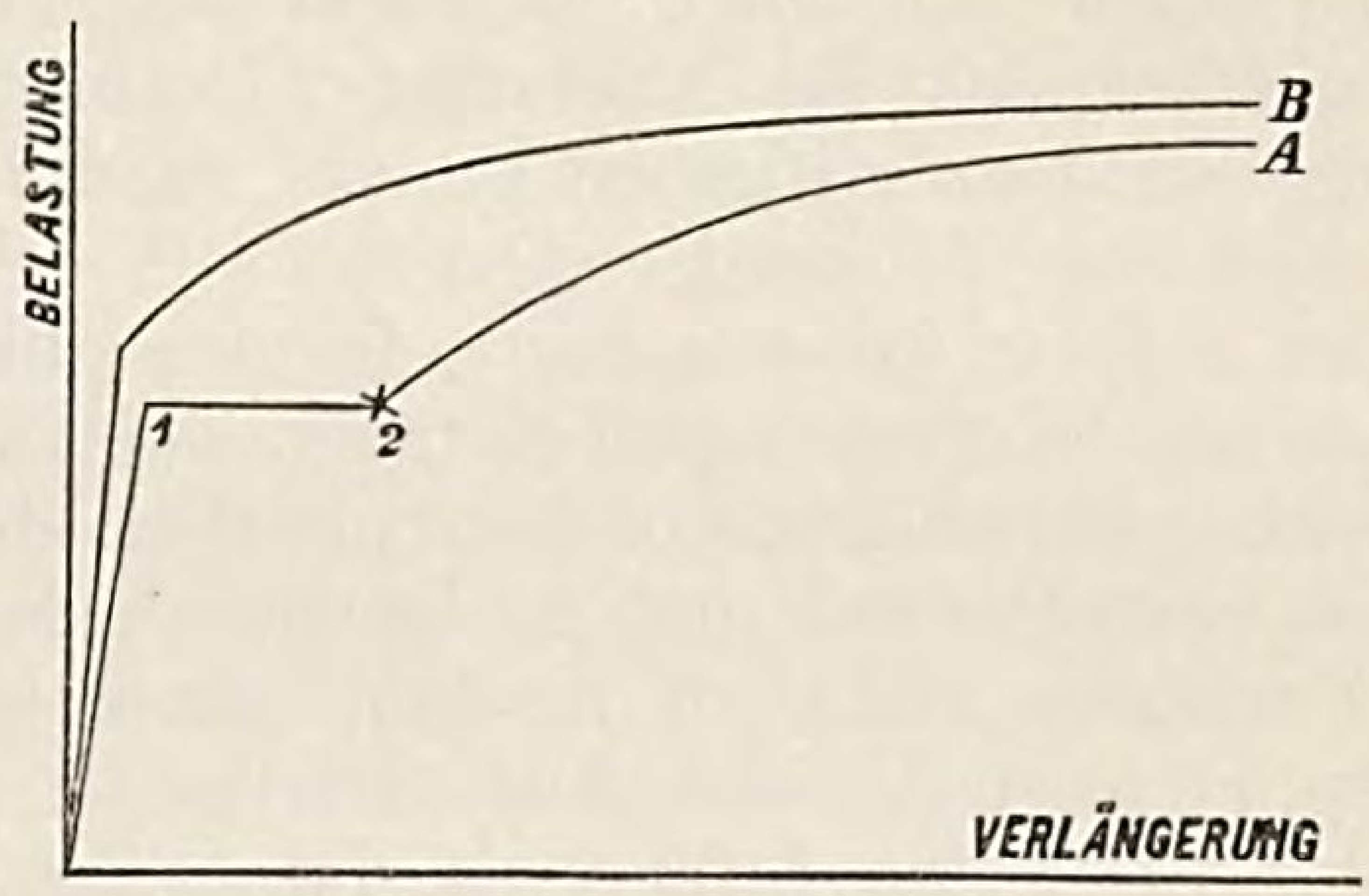
Eine solche Beeinflussung erleidet das Eisen auch, wenn es bei Festigkeitsprüfungen über die Elasticitätsgrenze hinaus belastet wird und der Erfolg ist der gleiche wie bei der mechanischen Bearbeitung. Verfolgt man jedoch die bei zunehmender Belastung eintretenden Formveränderungen, so zeigt das ausgeglühte Eisen bei einer Belastung, welche man als Streckgrenze oder Fliessgrenze bezeichnet, eine plötz-

1) Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, Juin 1895, p. 692; daraus in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 750.

2) Engineering and Mining Journal, vol. 62, p. 557 und vol. 63, p. 111; daraus in „Stahl und Eisen" 1897, Seite 438.

lich ohne Vergrösserung der Belastung eintretende starke Formveränderung, ein Fliessen (bei Zugversuchen Längenausdehnung), welches jedoch nur ein gewisses Maass erreicht, worauf erst bei Vergrösserung der Belastung eine fernere Formveränderung bemerkbar wird. Bei Zugversuchen mit reinem Eisen, dessen Festigkeit 30 kg auf 1 qmm beträgt, liegt diese Streckgrenze bei einer Belastung von ungefähr 18 kg. Verzeichnet man die Schaulinie der bei zunehmender Belastung eintretenden Formveränderungen, indem man die Belastungen auf der Ordinate, die der jedesmaligen Belastung entsprechende Formveränderung auf der Abscisse aufträgt, so erhält man die Linie *A* in Fig. 74; zwischen 1 und 2 findet das erwähnte Fliessen statt. War das Eisen dagegen zuvor über den kritischen Punkt hinaus erhitzt und rasch in kaltem Wasser abgelöscht, oder war es einer zuvorigen Formveränderung durch mechanische Bearbeitung ohne Erhitzung unterworfen, so tritt jenes Fliessen nicht ein; die Schaulinie bei der Festigkeitsprüfung zeigt die Form der Linie *B* in Fig. 74.[1]) Auch dann verschwindet der Absatz 1—2 in der Linie *A*, d. h. das Metall fliesst nicht, und die Schaulinie bekommt die Form *B*, wenn das Metall in Temperaturen über 600° C. geprüft wird.[2])

Fig. 74.



Alle jene Veränderungen, welche das Eisen durch Ablöschen im erhitzten Zustande oder durch mechanische Beanspruchung in gewöhnlicher Temperatur erleidet, verschwinden wieder, wenn es über den untern kritischen Punkt hinaus erhitzt und dann langsam abgekühlt wird.

Allotropie des Eisens.

Die mitgetheilten Veränderungen, welche die Eigenschaften des Eisens beim Erwärmen und Abkühlen, sowie bei der mechanischen Bearbeitung erleiden, lassen sich nur erklären, wenn man annimmt, dass das Eisen, wie der Schwefel, Phosphor und andere Körper, zwei verschiedene, durch abweichende Eigenschaften gekennzeichnete Formen anzunehmen vermöge, die man α-Eisen oder Weicheisen und β-Eisen oder Harteisen genannt hat.[3]) Ersteres ist weich, geschmeidig und besitzt eine Zugfestigkeit von ungefähr 30 kg; letzteres ist spröde und erheblich fester. Ob auch der eigentliche Härtegrad, d. h. das Maass des Widerstandes gegen das Eindringen eines fremden Körpers, Abweichungen

1) Vergleiche Charpys in Fussanmerkung 1 a. S. 264 genannte Abhandlung.
2) Mittheilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin, Jahrgang 1890, Seite 159.
3) Die Ansicht ist zuerst von Osmond in der unter Litteratur genannten Abhandlung: Osmond et Werth, Théorie cellulaire des propriétés de l'acier aufgestellt und in den zahlreichen späteren Arbeiten verfochten worden und wird jetzt von den meisten Metallurgen getheilt.

zeigt, sofern das Eisen von Fremdkörpern, insbesondere Kohlenstoff, vollständig frei ist, hat man mit Sicherheit bislang nicht nachgewiesen. Das Weicheisen wird zwar vom Magneten angezogen und wird selbst dabei magnetisch, so lange es mit dem Magneten in Berührung bleibt, nimmt aber keinen bleibenden Magnetismus an; das Harteisen wird bei Berührung mit dem Magneten schwieriger magnetisch, behält aber seinen Magnetismus, auch wenn es jener Berührung entzogen wird, es wird bleibend magnetisch.

Ausgeglühtes und dann langsam abgekühltes reines Eisen enthält nur Weicheisen.[1]) Wird es erhitzt, so wandelt es sich bei etwa 750°, dem untern kritischen Punkte, in Harteisen um, und der stattfindende Wärmeverbrauch, durch die oben erwähnte Verzögerung der Temperaturzunahme gekennzeichnet, verräth diese Umwandlung; eine gewisse Zeitdauer der Erwärmung ist nothwendig, damit sie vollständig sei. Eisen, welches längere Zeit über jene Temperatur erhitzt worden ist, enthält demnach, so lange es nicht abgekühlt wird, nur Harteisen; dieses wandelt sich bei langsamer Abkühlung wieder in Weicheisen um, und die an dem kritischen Punkte stattfindende Wärmeentwickelung verräth wiederum diesen Vorgang.[2])

Diese Umwandlung des im glühenden Metalle anwesenden Harteisens lässt sich jedoch ganz oder theilweise hintertreiben, wenn es nicht allmählich, sondern plötzlich durch Ablöschen in kaltem Wasser abgekühlt wird, und je rascher diese Abkühlung stattfand, desto mehr Harteisen ist auch in dem erkalteten Metalle zugegen, desto fester, spröder ist es, und desto stärker ist sein bleibender Magnetismus.

Derselbe Erfolg wie durch Erhitzen und rasches Ablöschen lässt sich auch durch mechanische Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur, bei welcher die Elasticitätsgrenze überschritten wird, erreichen; es entsteht um so mehr Harteisen neben Weicheisen, je stärker die erzeugte bleibende Formveränderung ist,[3]) und das solcherart bearbeitete Stück nimmt ebenfalls bleibenden Magnetismus an.[4])

In beiden Fällen wird durch Erhitzen über den kritischen Punkt hinaus mit darauf folgender langsamer Abkühlung das Harteisen wieder in Weicheisen umgewandelt.

1) Galvanisch niedergeschlagenes und nicht ausgeglühtes Eisen besteht, wie sein oben erwähntes Verhalten und seine Krystallform schliessen lässt, aus Harteisen. Auch Osmond sprach bereits 1890 diese Ansicht aus (Philosophical Magazine, Juni 1890; Journal of the Iron and Steel Institute 1890 I, p. 67).

2) Einige Forscher, unter ihnen Osmond, nehmen an, dass bei dem oberen kritischen Punkte eine dritte Eisenform entstehe und bei der Abkühlung wieder verschwinde, welche sie γ-Eisen nennen. Die Frage ist für die Beurtheilung des Verhaltens des Eisens von geringerer Bedeutung und möge hier offen bleiben. Dass die Lage der kritischen Punkte bei der Aufnahme von Fremdkörpern, insbesondere von Kohlenstoff, Aenderungen erleide, welche unten Besprechung finden werden, wurde bereits erwähnt.

3) Die Eigenschaft, bei der Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur härter und spröder zu werden, besitzen auch die meisten übrigen Metalle, und eine Erklärung dafür lässt sich nur finden, wenn man annimmt, dass auch sie fähig seien, in eine zweite Form überzugehen, wenn sie eine bleibende Formveränderung ohne Erwärmung erleiden. Beim Ausglühen nehmen auch sie ihre ursprünglichen Eigenschaften wieder an; aber rasche Abkühlung verhindert bei ihnen nicht, wie beim Eisen, diesen Uebergang.

4) Versuche Charpys hierüber: „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 459.

2. Allgemeines über die Vereinigungen des Eisens mit anderen Körpern.

Die schon erwähnte Schwierigkeit, ganz reines Eisen darzustellen, deutet auf eine starke Neigung des Eisens hin, mit anderen Körpern (deren wichtigste bereits auf Seite 3 genannt wurden) Vereinigungen einzugehen. Jene Fremdkörper sind theils Metalle, theils Metalloide; die Vereinigungen des Eisens mit ihnen nennt man, wie die Vereinigungen verschiedener Metalle unter einander oder mit Metalloiden in unbestimmten Gewichtsverhältnissen überhaupt, Legirungen.[1]) Von den chemischen Verbindungen im engern Sinne unterscheiden sich die Legirungen vornehmlich dadurch, dass ihre Zusammensetzung unabhängig ist von den Atomgewichten und innerhalb gewisser Grenzen in beliebigen Gewichtsverhältnissen erfolgen kann, ja nicht selten vollständig unbeschränkt ist; aber sie besitzen durchaus metallische Eigenart, während ihre physikalischen Eigenschaften oft nicht unerheblich von denen der Einzelbestandtheile abweichen.

Eine Legirung muss demnach als eine metallische Lösung zweier oder mehrerer Körper betrachtet werden, innerhalb welcher zwar wirkliche chemische Verbindungen der Bestandtheile entstehen können, ohne dass die Entstehung dieser Verbindungen nothwendig ist oder das Wesen der Legirung bedingt. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass äussere Verhältnisse, z. B. die Temperatur, welcher eine Legirung ausgesetzt ist, auf das Entstehen und Zerfallen solcher chemischen Verbindungen innerhalb einer Legirung Einfluss haben, und dass auf diesem Umstande Abweichungen beruhen, welche mitunter in den Eigenschaften scheinbar ganz übereinstimmend zusammengesetzter Legirungen sich beobachten lassen.

Ausser der Temperatur beeinflussen das Massenverhältniss, in welchem die Bestandtheile anwesend sind, sowie das Maass ihres Vereinigungsbestrebens das Entstehen und Zerfallen bestimmter chemischer Verbindungen. Finden sich zwei Körper neben einander, welche starke Neigung besitzen, sich unter den gegebenen Verhältnissen zu bestimmten chemischen Verbindungen zu vereinigen, so darf man annehmen, dass nicht die Einzelkörper, sondern ihre Verbindungen in der Legirung gelöst sind; vermögen aber jene Körper verschiedene Verbindungen einzugehen, so entsteht diejenige, welche den grössten Gehalt des im Ueberschusse anwesenden Bestandtheils enthält.

Nimmt z. B. flüssiges Eisen Sauerstoff auf, welcher Fall bei der Flusseisenerzeugung häufig vorkommt, so kann dieser Sauerstoff in Anbetracht des starken chemischen Vereinigungsbestrebens zwischen Eisen und Sauerstoff nicht im freien Zustande, sondern nur in Form einer Eisensauerstoffverbindung gelöst sein, und da ein sehr beträchtlicher verfügbarer Ueberschuss von metallischem Eisen zugegen ist, kann überhaupt nur die eisenreichste (sauerstoffärmste) dieser Verbindungen, das Eisenoxydul FeO, entstehen. Jede eisenärmere Verbindung (Fe_3O_4, Fe_2O_3) würde durch das überschüssige Eisen zerlegt werden. Diese Thatsache wird nicht allein durch das chemische Verhalten der Körper im Allgemeinen erwiesen, sondern steht auch mit dem (allerdings nur

1) Von dem italienischen Worte lega, das Bündniss, die Vereinigung.

bedingungsweise gültigen) Gesetze der Thermochemie im Einklange, nach welchem zwei verbindungsfähige Einzelkörper diejenige Verbindung einzugehen bestrebt sind, welche der grössten Wärmeentwickelung entspricht.[1]) In dem erwähnten Falle stehen dem aufgenommenen Sauerstoff beliebige Eisenmengen für die Bildung chemischer Vereinigungen zur Verfügung; er bildet Eisenoxydul, wobei nach den auf Seite 53 gegebenen Ziffern die stärkste Wärmeentwickelung stattfindet.

Tritt nun aber zu einer Legirung, welche eine solche Verbindung gelöst enthält, ein dritter Körper, welcher zu dem in beschränkter Menge anwesenden Bestandtheile — also in dem besprochenen Falle zum Sauerstoff — ein stärkeres Vereinigungsbestreben besitzt als der bisher mit ihm verbunden gewesene Körper, so wird die Verbindung zerlegt, indem eine Verbindung des hinzugetretenen Körpers entsteht. Ist diese Verbindung unlöslich oder schwerer löslich in der flüssigen Legirung als die früher vorhandene, so kann hierdurch eine Ausscheidung des früher anwesenden Körpers bewirkt werden. In je grösserem Ueberschusse der neu hinzugekommene Körper anwesend und je stärker sein Vereinigungsbestreben zu dem früher anwesenden ist, desto rascher und vollständiger verläuft jene Zersetzung und unter Umständen Ausscheidung.

So z. B. besitzen Silicium, Mangan, Aluminium in der Temperatur des flüssigen Eisens ein stärkeres Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff als Eisen. Wird demnach einer dieser Körper von flüssigem Eisen, welches eisenoxydulhaltig war, aufgenommen, so tritt eine Zerlegung des Eisenoxyduls ein, um so rascher und vollständiger, in je grösserem Ueberschusse die Aufnahme stattfindet, und sofern die neu entstehende Eisensauerstoffverbindung unlöslich im Eisenbade ist, kann eine vollständige Sauerstoffausscheidung hierdurch bewirkt werden. Je stärker verdünnt aber die auf einander wirkenden Körper im flüssigen Eisen sind, d. h. je geringer ihre Menge im Eisen ist, desto langsamer verläuft der Vorgang, desto leichter kann es geschehen, dass beim Erstarren des Metalls jene Wirkung noch unvollendet blieb.[2])

Jedes Handelseisen ist demnach eine Legirung des Eisens mit anderen Körpern, deren Menge im schmiedbaren Eisen oft nur wenige Tausendtheile, im Roheisen mindestens 2,5, häufiger 8 bis 12 Hunderttheile beträgt, in den Eisenmanganlegirungen aber nicht selten die Menge des Eisens überwiegt.

Verschiedenen Körpern gegenüber besitzt das Eisen abweichende Legirungsfähigkeit. Sie ist unbegrenzt, d. h. das Eisen kann in jedem beliebigen Gewichtsverhältnisse sich vereinigen mit Mangan, Chrom, Wolfram, Nickel, Kobalt, Gold, Platin, Aluminium, Zinn, Antimon, Arsen, Schwefel, Phosphor, Silicium u. a.; sie ist beschränkt, d. h. die Legirung kann nur bis zu einem gewissen Gehalte des einen oder andern Körpers ausgedehnt werden, mit Zink, Wismuth, Kupfer, Kohle; fast gar nicht legirt sich das Eisen mit Blei, Silber, Quecksilber.

1) Jahn, Grundsätze der Thermochemie, 2. Auflage, Seite 128.

2) Es möge hier daran erinnert werden, dass auch bei Zersetzungen in kaltflüssigen Lösungen ganz die nämlichen Umstände maassgebend sind. Wollen wir einen gelösten Körper durch Ausfällung quantitativ bestimmen, so ist eine vollständige Ausfällung in kurzer Zeit nur durch einen Ueberschuss des Fällungsmittels möglich; je grösser dieser Ueberschuss ist, desto rascher geht die Zersetzung von statten.

Obgleich die Veränderungen, welche die Eigenschaften eines Metalls, und somit auch des Eisens, durch die Aufnahme eines anderen Körpers erleiden, verschieden sein können, ist doch eine gewisse Gesetzmässigkeit dabei nicht zu verkennen. Ziemlich übereinstimmend zeigt sich:

Dass die Festigkeit des legirten Metalls grösser ist als die des reinen, sofern eine gewisse Grenze in dem Gehalte des zweiten Körpers nicht überschritten wird, dass aber, sobald diese Grenze erreicht ist, mit der Zunahme des Gehalts an dem fremden Bestandtheile rasche Abnahme der Festigkeit eintritt. Bei der Legirung mit Metalloiden pflegt die Grenze früher als bei der Legirung mit Metallen erreicht zu werden.

Dass die Härte des legirten Metalls bedeutender, die Zähigkeit und Geschmeidigkeit geringer ist als die des reinen.

Dass die Schmelztemperatur legirter Metalle niedriger liegt als die aus den Schmelztemperaturen der Bestandtheile der Legirung berechnete Durchschnittstemperatur; häufig sogar niedriger als die Schmelztemperatur jedes einzelnen Bestandtheils. Tritt demnach ein in höherer Temperatur schmelzbarer Körper, z. B. Mangan, zu dem Eisen, so kann dessen Schmelztemperatur noch erniedrigt werden, sofern die Menge des hinzutretenden Körpers ein gewisses Maass nicht übersteigt; auch die manganreicheren Legirungen schmelzen früher als die Berechnung aus den Schmelztemperaturen der Einzelmetalle ergeben würde. Ganz besonders deutlich zeigt sich dieser Einfluss bei den Legirungen des Eisens mit dem im reinen Zustande unschmelzbaren Kohlenstoff, deren Schmelztemperatur durch jedes Hunderttheil Kohlenstoff um ungefähr 100° C. erniedrigt wird.

Sind mehrere Körper in einer Legirung anwesend, welche in gleicher Richtung die Eigenschaften des Grundmetalls (des Eisens) beeinflussen, so ist das Maass ihres Einflusses gewöhnlich grösser, als der Summe ihrer Einflüsse entsprechen würde. Daher sinkt z. B. die Schmelztemperatur der Legirungen (ebenso wie die der Schlacken, vergleiche Seite 191) nicht nur mit zunehmender Gewichtsmenge, sondern auch mit zunehmender Zahl der anwesenden Fremdkörper.

Eine eigenthümliche Eigenschaft vieler Legirungen ist die Neigung zu saigern. Man versteht hierunter ein Zerfallen einer flüssigen Legirung beim allmählichen Erstarren in mehrere Legirungen von abweichender Zusammensetzung oder in Legirungen und ausgeschiedene einfache Körper, so dass der eine Bestandtheil vor dem anderen fest wird und sich von diesem sondert. Mitunter tritt sogar in der schon starr gewordenen Legirung in bestimmter Temperatur ein solches Zerfallen, eine Bildung engerer Legirungen oder chemischer Verbindungen innerhalb der Hauptmasse, ein. Je langsamer die Abkühlung stattfindet, desto stärker pflegt die Saigerung zu sein.[1]) Auch im gewerb-

1) Der Name Saigerung ist zwar für das beschriebene Zerfallen der Legirungen ganz allgemein geworden, bedeutet aber ursprünglich einen Vorgang, welcher erst die Folge jenes Zerfallens ist. Wenn nämlich Körper von sehr abweichender Schmelztemperatur sich von einander sondern und die erstarrte Legirung nun wieder allmählich erhitzt wird, so kann es geschehen, dass die leichter schmelzbaren Bestandtheile in Tropfen ausfliessen, d. h. aussickern oder „aussaigern", bevor die schwerer schmelzbaren flüssig geworden sind. So lässt sich kupferarmes, leichter schmelzbares

lich dargestellten Eisen zeigt sich dieser Vorgang, und es giebt in der That kein durch die gewöhnlichen Verfahren erzeugtes und demnach gewisse Mengen von Fremdkörpern enthaltendes Eisen, welches, wenn es flüssig gewesen war, als vollständig gleichartige Masse erstarrt. Stets sondern sich einzelne abweichend zusammengesetzte Verbindungen (Legirungen) oder Einzelkörper von der Hauptmasse, entweder diese netz- oder aderförmig durchsetzend oder zu einzelnen Anhäufungen zusammentretend, welche von der Hauptmasse umgeben sind, oder in irgend einer anderen Form innerhalb der Hauptmasse vertheilt. Verschiedene Merkmale verrathen diesen Vorgang. Bei sehr starker Saigerung kann es geschehen, dass im Inneren von Hohlräumen, welche beim Erstarren des flüssigen Metalls entstanden, sich Ausscheidungen in Linsen-, Bohnen- oder Nierenform finden, welche erheblich anders zusammengesetzt sind, als das Muttermetall, aus dem sie ausschieden; oder dass beim Zusammenziehen (Schwinden) des erstarrten, noch glühenden Metalls leichtflüssigere, noch im flüssigen Zustande verharrende Legirungen herausgedrückt werden, wie man Quecksilber durch einen Lederbeutel drücken kann, und alsdann die Oberfläche des Metalls in Form zahlreicher Tropfen bedecken, mitunter mikroskopisch klein, mitunter in der Grösse einer Erbse und darüber, deren chemische Zusammensetzung auf ihre Entstehungsursache hinweist. Auch Proben, welche an verschiedenen Stellen, z. B. in der Mitte und am Rande, eines grösseren gegossenen Eisenstücks entnommen wurden, lassen bei der chemischen Untersuchung nicht selten deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung des rascher und des langsamer erkalteten Metalls erkennen. Beispiele dieser Vorkommnisse sind bei Besprechung der Eigenschaften des Roheisens in der zweiten Abtheilung und des Flusseisens in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde gegeben.

Besonders deutlich pflegen auch gewisse Formen der Saigerung bei entsprechend ausgeführter mikroskopischer Untersuchung dem Auge erkennbar zu werden. Die von einander gesonderten Körper besitzen in der Regel verschiedenen Härtegrad, häufig auch verschiedenes Gefüge; schleift man also die zu untersuchende Probe mit feinen Schleifmitteln, so sind auf der Schifffläche schon häufig ohne Weiteres die getrennten Bestandtheile durch ihr verschiedenes Aussehen zu erkennen. Sie sind aber auch chemischen Einflüssen verschieden stark zugänglich. Setzt man also die Schlifffläche der Einwirkung schwacher Lösungsmittel aus, welche die neben einander im Eisen ausgeschiedenen Verbindungen oder Einzelkörper verschieden stark angreifen, so lässt sich mit Hülfe des Mikroskops die Anwesenheit und Anordnung jener Theile gewöhnlich noch deutlicher wahrnehmen. Durch mässiges Erwärmen der geätzten Fläche, wobei einzelne Bestandtheile stärker als andere anlaufen, oder durch Erzeugung eines dünnen galvanischen Gold- oder Kupferniederschlags auf der Fläche, welcher nur auf einzelnen Bestandtheilen sich anzusetzen pflegt, andere dagegen freilässt, kann man die Erkennung mitunter ferner erleichtern.

Blei von bleiarmem, schwerer schmelzbarem Kupfer, bleiärmeres Zinn von zinnarmem Blei trennen; beim Eisen kommt indess eine Saigerung in diesem engern Sinne kaum vor.

Die Mikroskopie oder die Untersuchung des Kleingefüges des Eisens hat sich in dem letzten Jahrzehnt zu einem besondern Zweige der Wissenschaft entwickelt. Unserer Kenntniss von dem Verhalten des Eisens ist mancher Fortschritt hierdurch erwachsen, welcher, wie jede Errungenschaft der Forschung, auch dem Betriebe Nutzen bringt; bei der unten folgenden Besprechung der Vereinigungen des Eisens mit Kohlenstoff hat diese Thatsache noch eingehendere Erwähnung gefunden. Nur beschränkte Erfolge haben dagegen die Versuche gehabt, die mikroskopische Untersuchung als unmittelbares Prüfungsverfahren für die Brauchbarkeit des im Grossen erzeugten Eisens heranzuziehen. Das Verfahren ist hierfür zu umständlich, und die Auskunft, welche es ertheilt, zu unbestimmt.

Ueber die Ausführung der mikroskopischen Untersuchung des Eisens geben die zahlreichen unter Litteratur genannten Schriften Belehrung.

3. Eisen und Sauerstoff.

Die verschiedenen Eisensauerstoffverbindungen.

Das Vereinigungsbestreben zwischen Eisen und Sauerstoff ist ziemlich stark. Leichter als Kupfer, Zinn, Blei und sämmtliche Edelmetalle wird das Eisen zur Vereinigung mit Sauerstoff veranlasst; schwieriger als jene Metalle wird es aus seinen Sauerstoffverbindungen abgeschieden.

Unter diesen Sauerstoffverbindungen spielen die Eisensäure (H_2FeO_4) und ihr Anhydrid (FeO_3), welche beide im freien Zustande nicht bestehen können, keine Rolle im Eisenhüttenwesen.

Das Eisenoxyd Fe_2O_3 tritt uns in den Rotheisenerzen und in Verbindung mit Wasser in den Brauneisenerzen entgegen; es entsteht beim Glühen des Eisens unter stark oxydirenden Einflüssen in nicht allzu hoher Temperatur sowie beim oxydirenden Rösten oxydulhaltiger Erze und der Eisenkiese. Dass es in Weissgluth leicht einen Theil seines Sauerstoffs abgiebt, wurde bereits auf Seite 235 erwähnt;[1]) als kräftiges Oxydationsmittel vermag es schon in Rothgluth zu wirken, wenn es in jener Temperatur mit verbrennungsfähigen Körpern — Kohle und Kohlenoxyd, Wasserstoff, Mangan, Silicium und anderen — zusammentrifft. Hierbei hinterbleibt Eisenoxyduloxyd, Eisenoxydul oder metallisches Eisen, abweichend nach dem Massenverhältnisse der auf einander wirkenden Körper und der herrschenden Temperatur. Da das Eisenoxyd, zumal in höherer Temperatur, eher die Eigenschaften einer Säure als einer Base besitzt — es vermag z. B., wie schon auf Seite 235 erwähnt worden ist, mit Kalkerde eine schmelzbare Verbindung einzugehen —, erklärt es sich, dass es in Schlacken nur bestehen kann, wenn diese basische Beschaffenheit besitzen, und dass es um so leichter in Eisenoxydul übergeht, je reicher an Kieselsäure die Schlacken sind, und je höher ihre Entstehungstemperatur ist. Bisilikatschlacken, in

1) Nach Versuchen von Åkerman giebt Eisenoxyd sogar schon bei 900° C. im Kohlensäurestrome einen Theil seines Sauerstoffgehalts ab. „Stahl und Eisen" 1883, Seite 149.

hoher Temperatur entstanden (z. B. Bessemerschlacken), pflegen keine Spur von Eisenoxyd zu enthalten, auch wenn kräftig oxydirende Einflüsse bei ihrer Entstehung maassgebend waren. Auch in stark basischen Schlacken pflegt neben dem Eisenoxyd in noch reicherer Menge Eisenoxydul zugegen zu sein.

Eisenoxyduloxyd, dessen Zusammensetzung nur ausnahmsweise der Formel Fe_3O_4 entspricht, häufiger zwischen Fe_2O_3 und FeO schwankt, wird von der Natur als Magneteisenerz geliefert und entsteht beim Glühen des Eisens unter weniger stark oxydirenden Einflüssen oder in höherer Temperatur als das Eisenoxyd. Es lässt sich als eine Vereinigung, gewissermaassen Legirung, des Eisenoxyds mit Eisenoxydul in wechselnden Verhältnissen betrachten. Je mehr die äusseren Umstände die Entstehung des Eisenoxyds begünstigen, desto sauerstoffreicher ist das Eisenoxyduloxyd, und umgekehrt.

Eisenoxydul FeO ist, wie bekannt, im freien Zustande schwierig zu erhalten, spielt aber in seinen Verbindungen, in welchen es als kräftige Base auftritt und demnach als um so beständiger sich erweist, je säurereicher diese Verbindungen sind, eine wichtige Rolle. Mit dem Eisenoxyd vereinigt es sich zu dem soeben besprochenen Eisenoxyduloxyd; mit Kohlensäure verbunden tritt es in der Natur als Spatheisenerz und Sphärosiderit auf; in Schlacken findet es sich in oft reichlicher Menge.

Wird flüssiges Eisen der Einwirkung der Luft oder oxydirender Gase ausgesetzt, oder mit sonstigen sauerstoffabgebenden Körpern (z. B. Eisenerzen) in Berührung gebracht, so kann, wenn das Metall nicht reducirend wirkende Körper (Kohlenstoff, Silicium, Mangan) in reichlichen Mengen enthält, Eisenoxydul entstehen und sich im flüssigen Eisen lösen; eine höhere Oxydationsstufe des Eisens kann, da stets ein Ueberschuss des Metalls zugegen ist, nicht als solche gelöst werden, sondern wird zu Eisenoxydul reducirt (Seite 267). Die Menge des Eisenoxyduls, welches flüssiges Eisen aufzunehmen vermag, ist jedoch beschränkt und beträgt den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen zufolge ungefähr 1,1 v. H., entsprechend 0,25 v. H. Sauerstoff. Je mehr Körper zugegen sind, welche in der Temperatur des geschmolzenen Eisens auf das Eisenoxydul reducirend einwirken, desto geringer ist der Eisenoxydulgehalt, desto rascher wird es zerstört. Nachstehende Analysen von Eisen, welches in der Thomasbirne aus Roheisen durch anhaltende Einwirkung der Gebläseluft (sogenanntes Ueberblasen) erzeugt worden war, geben einen Beleg hierfür:

	I	II	III
Kohlenstoff	0,037	0,123	0,050
Silicium	0,001	0,000	0,000
Schwefel	0,059	0,093	0,057
Phosphor	0,058	0,149	0,075
Mangan	0,080	0,180	0,115
Kupfer	0,046	0,095	0,061
Kobalt, Nickel	0,064	0,140	0,110
Eisenoxydul	1,098	0,837	0,774

Das an Kohlenstoff und Mangan ärmste Eisen I ist das an Eisenoxydul reichste.

Kleinere Mengen Eisenoxydul können auch im kohlenstoff- und manganreicheren Eisen auftreten, sofern dieses erstarrte, bevor die Zersetzung des Eisenoxyduls durch jene Körper beendet war; z. B.

	IV	V	VI	VII
Kohlenstoff	0,24	0,16	0,12	0,24
Silicium	0,00	0,03	0,00	0,12
Schwefel	0,05	0,06	0,06	0,03
Phosphor	0,08	0,08	0,12	0,28
Mangan	0,12	0,17	0,12	0,37
Kupfer	0,18	0,11	0,02	0,16
Kobalt, Nickel . . .	0,05	0,05	0,03	0,18
Eisenoxydul	0,32	0,32	0,18	0,12

Die untersuchten Eisenproben waren Flusseisen, theils aus dem Martinofen, theils aus der Bessemer- oder Thomasbirne.[1])

Nicht möglich ist die Anwesenheit einigermaassen erheblicher Mengen von Eisenoxydul im kohlenstoffreichen Roheisen, dessen beträchtlicher Ueberschuss an reducirenden Körpern die rasche Zerstörung des Eisenoxyduls bewirken würde. Dass dagegen kohlenstoff-, mangan- und siliciumarmes Roheisen, welches seiner Zusammensetzung nach dem Stahle nahe steht, Eisenoxydul enthalten kann, lässt sich aus den Erscheinungen beim Fliessen dieser Roheisenart folgern (vergleiche „Grelles Roheisen“ in der zweiten Abtheilung der Eisenhüttenkunde).

Jener im Flusseisen auftretende Gehalt an Eisenoxydul übt auf dessen Verhalten beachtenswerthe Einflüsse aus. Sofern der Gehalt mehr als 0,5 v. H. (oder etwa 0,1 v. H. Sauerstoff) beträgt, verliert das Eisen an Schmiedbarkeit in Rothgluth, es wird „rothbrüchig“; in Weissgluth dagegen hört dieser Einfluss auf, und das Eisen kann gut schmiedbar sein. Die unausgesetzt stattfindende Einwirkung des im flüssigen Metalle anwesenden Eisenoxyduls auf den nie ganz fehlenden Kohlenstoffgehalt aber hat eine Bildung von Kohlenoxydgas zur Folge, welches beim Erstarren die Entstehung von Hohlräumen durch zurückgehaltene Gasblasen veranlassen kann.

Da das Eisenoxydul die niedrigste Oxydationsstufe des Eisens ist, entsteht bei dessen Reduction in jedem Falle metallisches Eisen. Während aber Eisenoxyd verhältnissmässig leicht einen Theil seines Sauerstoffgehalts abgiebt, erheischt die Reduction des Eisenoxyduls zu metallischem Eisen eine höhere Temperatur und kräftiger reducirende Einflüsse. Die Thatsache steht im Einklange mit der grösseren Wärmeentwickelung bei der Bildung von Eisenoxydul als von Eisenoxyd oder Eisenoxyduloxyd durch die gleiche Menge Sauerstoff (Seite 53).

Oxydation des erhitzten Eisens.

In gewöhnlicher Temperatur übt trockener Sauerstoff keinen Einfluss auf das Eisen aus. Eine Einwirkung wird erst bemerkbar, wenn die Temperatur auf etwa 200° C. oder etwas darüber steigt. Das Eisen, sofern es vorher an der Oberfläche metallisch rein war, überzieht sich

1) Sonstige Analysen: Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 10, Seite 181.

mit einer, zunächst hellgelben, Anlauffarbe, hervorgegangen aus der Entstehung eines sehr schwachen Häutchens oxydirten Eisens, und bei fortgesetzter Erwärmung ändert sich diese Farbe, da das Oxydhäutchen immer mehr an Stärke zunimmt, der Reihe nach in dunkelgelb, braun, roth, violett, blau bis grau.

Bei fernerer Steigerung der Temperatur bis zum Glühen unter Luftzutritt bildet sich an der Oberfläche des Eisens eine Lage oxydirten Eisens, allgemein Glühspan, beim schmiedbaren Eisen Hammerschlag oder Walzsinter[1]) genannt, aus Eisenoxyduloxyd mit verschiedenem Sauerstoffgehalte bestehend und leicht von dem Eisen sich ablösend. Der Sauerstoffgehalt des Glühspans hängt vornehmlich von der Zeitdauer der Einwirkung, der Höhe der Temperatur und dem Maasse der Oxydationswirkung ab. So z. B. besassen verschiedene von mir untersuchte Proben von Walzsinter und Hammerschlag nachstehende Zusammensetzung:

	Fe_2O_3	FeO	MnO	SiO_2	P_2O_5	CuO
Schweissstahl . .	47,48	50,77	0,33	1,03	0,04	0,03
Schweisseisen . .	45,37	53,62	0,07	0,40	0,58	0,01
desgleichen . . .	42,81	56,48	0,11	0,30	0,25	0,04
desgleichen . . .	48,74	50,73	nicht best.	nicht best.	nicht best.	nicht best.
Flussstahl . . .	51,85	46,74	0,23	0,80	0,04	0,01
Flusseisen . . .	39,48	60,08	0,43	0,00	0,09	0,05
desgleichen . . .	35,97	63,69	0,43	0,00	0,05	0,03
desgleichen . . .	37,41	62,32	nicht best.	nicht best.	nicht best.	nicht best.

Der mittlere Eisengehalt aller Proben beträgt 73,74 v. H., der an Eisen gebundene Sauerstoffgehalt 25,44 v. H. Das Verhältniss entspricht annähernd der Formel Fe_7O_8. Im Uebrigen zeigen die Untersuchungen, dass auch sonstige Bestandtheile des Eisens verbrannt werden und in den Glühspan eingehen, und zwar annähernd in dem gleichen Verhältnisse, in welchem sie im Eisen zugegen waren;[2]) gänzlich abwesend war Schwefel.

Ausser den in den Glühspan übergehenden Körpern verbrennt auch Kohlenstoff im Eisen. Die hierdurch bewirkte Abnahme des Kohlenstoffgehalts ist, wenn dieser überhaupt gering war, und das Glühen nur auf kurze Zeit beschränkt blieb, unmerklich, zeigt sich aber deutlich beim kohlenstoffreichem Stahl und weissem Roheisen. Zunächst entsteht eine dünne kohlenstoffärmere Schicht am Umfange des Eisenstücks; sie nimmt mehr und mehr an Stärke zu, je länger die Einwirkung dauert, und das ganze Eisenstück kann nach und nach entkohlt werden.[3])

1) Hammerschlag ist der beim Schmieden, Walzsinter der beim Walzen des Eisens abfallende Glühspan.

2) Der hohe Kieselsäuregehalt der beiden Stahlproben entstammt jedenfalls zum Theil den Wänden des Wärmofens oder der Flugasche. Der Schweissstahl enthielt 0,14 v. H., der Flussstahl 0,31 v. H. Silicium.

3) Ueber die Entkohlung des Eisens durch Glühen in sauerstoffabgebenden festen Körpern, insbesondere Eisenerzen, vergleiche den Abschnitt Glühfrischen in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde.

Nur graphitischer Kohlenstoff, diese dem grauen Roheisen eigenthümliche Kohlenstoffform, wird hierbei wenig oder gar nicht beeinflusst.

Während aber der Kohlenstoff austritt, wird auch das Eisen unterhalb der erwähnten Glühspanschicht sauerstoffhaltig. Es schwillt auf und kann schliesslich vollständig verbrannt werden. Graphit wird auch hierbei nur in beschränktem Maasse verbrannt. Deutlich lässt sich dieser Vorgang an Eisentheilen erkennen, welche als ein Bestandtheil von Feuerungen Monate und Jahre hindurch der Einwirkung einer Stichflamme, also eines Gemisches von Kohlensäure, Wasserdampf und freiem Sauerstoff neben Stickstoff und kleineren Mengen unverbrannter Gase, ausgesetzt gewesen sind und sich dabei in ein Erzeugniss umgewandelt haben, welches Brandeisen genannt wird. Eine von mir untersuchte Platte eines gusseisernen Stubenofens, welche jahrelang oberhalb der Feuerung gelegen und dabei vollständig — auch auf der Bruchfläche — die rothe Farbe des Eisenoxyds angenommen hatte, besass folgende Zusammensetzung:

Eisen	68,386
Mangan	0,023
Kupfer, Kobalt, Nickel . .	0,125
Silicium	1,240
Schwefel	0,079
Phosphor	0,269
Arsen	0,056
Graphit	0,960
Sauerstoff	28,899
	100,037.

Häufig zeigt solches Brandeisen, zumal in dickeren Stücken, verschiedene abweichend aussehende Lagen über einander, welche bei der chemischen Untersuchung nicht allein in dem Sauerstoffgehalte, sondern auch in dem Gehalte an Silicium, Phosphor, Schwefel und bisweilen Mangan Unterschiede wahrnehmen lassen. Eine Saigerung hat während des anhaltenden Glühens stattgefunden; jene Körper sind in Form von Silikaten, Phosphaten und Sulfiden gewandert und finden sich meistens da angehäuft, wo die reichlichste Menge von Eisenoxydul, dessen stark basische Eigenschaft hierbei in Betracht kommt, sich gebildet hatte.

So z. B. fand Platz[1]) in drei Schichten einer gusseisernen Koksofenthür, welche an der bei der Benutzung aussen befindlichen Seite gesund, in der Mitte stark verbrannt, an der inneren Seite mit einer dicken Glühspanlage bedeckt war:

	Eisen	Mangan	Silicium	Phosphor
In dem gesunden Theile	90,82	0,88	2,57	1,70
In der mittleren verbrannten Schicht .	81,25	0,77	1,87	1,05
auf den Eisengehalt des gesunden Theils umgerechnet	—	0,86	2,09	1,17
In der Glühspanschicht	60,84	0,78	3,88	2,81
auf den Eisengehalt des gesunden Theils umgerechnet	—	1,16	5,79	4,19

1) „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 472. Die Abhandlung enthält noch fernere, hier nicht mitgetheilte Beispiele.

Eine Bestimmung des Eisenoxydul- und Eisenoxydgehalts in den beiden verbrannten Theilen hat nicht stattgefunden; vermuthlich enthielt die mittlere Schicht noch reichliche Mengen metallischen Eisens und daher auch mehr Gesammteisen.

Deutlicher ist der Einfluss des Eisenoxydulgehalts bei nachstehend mitgetheilten, im Eisenhüttenlaboratorium der Freiberger Bergakademie ausgeführten Untersuchungen erkennbar. Ein schmiedeeiserner Anker eines Zinkröstofens zeigte auf seiner Bruchfläche vier scharf von einander gesonderte Schichten. Die äussere Schicht war deutlich roth mit ziemlich grossblättrigem Gefüge; die zweite Schicht war etwas dunkler gefärbt, körnig von Gefüge; die dritte Schicht blauroth, feinkörnig; eingeschlossen war als vierte Schicht ein seinem Aussehen nach metallischer Kern mit feinkörnigem Gefüge. Die vier Schichten besassen folgende Zusammensetzung:

	Eisen-oxyd	Eisen-oxydul	Mangan	Phosphor	Silicium	Schwefel
Aeussere Schicht . . .	76,17	23,05	0,33	0,021	0,140	nicht best.
Zweite Schicht	28,96	70,60	0,23	0,012	0,047	0,005
Dritte Schicht	18,53	80,05	0,26	0,355	0,192	0,058
Kern	Eisen 98,15		0,38	0,204	0,050	0,025
Auf 100 Theile des ursprünglichen Eisens entfallen demnach						
In der äussern Schicht .	—	—	0,465	0,029	0,194	nicht best.
In der zweiten Schicht .	—	—	0,310	0,016	0,065	0,007
In der dritten Schicht .	—	—	0,477	0,468	0,226	0,076
Kern	—	—	0,387	0,204	0,050	0,025

Die dritte Schicht, am reichsten an Eisenoxydul, enthält auch die grössten Mengen Phosphor, Silicium und Schwefel. Dass auch der Kern bereits sauerstoffhaltig geworden war, lässt sich aus dem geringern Betrage der gefundenen Bestandtheile schliessen. Nach dem Gewichtsunterschiede berechnet ergiebt sich ein Sauerstoffgehalt von 1,191 v. H.

Oxydation des geschmolzenen Eisens.

Wollte man reines oder nur in unbedeutender Menge Fremdkörper enthaltendes Eisen der Einwirkung oxydirender Körper (Luft, Verbrennungsgase) preisgeben, so würde Eisenoxydul gelöst werden (Seite 272) und der Ueberschuss des verbrennenden Eisens als Eisenoxyduloxyd ausscheiden oder sich mit sonstigen anwesenden Körpern, z. B. mit aufgelösten Bestandtheilen des Schmelzofens oder Tiegels, zu einer eisenhaltigen Schlacke vereinigen.

Enthält das geschmolzene Metall jedoch Kohlenstoff, Silicium, Mangan, Phosphor oder andere, unter bestimmten Verhältnissen leichter als Eisen verbrennliche Körper, so werden auch diese durch die Verbrennung beeinflusst, als Oxyde mehr oder minder vollständig ausgeschieden, und sie können dadurch das Eisen selbst vor starker Verbrennung schützen. Als Oxydationsmittel für jene Körper können in solchen Fällen auch Eisenoxyd oder eisenoxydreiche Körper (Eisenerze,

eisenoxydhaltige Schlacken, Hammerschlag, Walzsinter) dienen. Setzt man Roheisen solchen Einflüssen aus, so wird es zunächst reiner von Fremdkörpern, und der Vorgang heisst, sofern das Enderzeugniss immer noch Roheisen ist, Feinen; bei fortgesetzter Einwirkung dagegen wird es in schmiedbares Eisen umgewandelt, und man nennt den Vorgang Frischen. Er bildet die Grundlage für die meisten in der Jetztzeit üblichen und in der dritten Abtheilung ausführlicher besprochenen Verfahren für Darstellung schmiedbaren Eisens, sowohl Schweiss- als Flusseisens.[1])

Die Reihenfolge, in welcher die verschiedenen Körper unter den genannten Einflüssen verbrannt werden und aus dem flüssigen Eisen austreten, ist jedoch nicht stets gleich. Sie ist von der Verdünnung der Körper im Eisenbade, d. h. von ihrem Gewichtsverhältnisse zum Eisen, von der herrschenden Temperatur, von der Gegenwart dritter Körper, welche mit den Verbrennungserzeugnissen Verbindungen einzugehen fähig sind, abhängig.

In je geringerer Menge die Bestandtheile im flüssigen Eisen anwesend, je stärker sie durch das Eisen verdünnt sind, desto schwieriger werden sie von den Einflüssen der Verbrennung erreicht, desto langsamer verläuft ihre Ausscheidung. Hieraus erklärt sich, dass stets auch von dem Eisen selbst ein Theil verbrannt und verschlackt wird, lange bevor die an und für sich leichter verbrennlichen Körper vollständig ausgeschieden sind, und dass die Verbrennung des Eisens ein um so stärkeres Maass erreicht, je geringer der Gehalt an jenen Körpern ist. Alles aus Roheisen erzeugte schmiedbare Eisen enthält demnach noch Kohlenstoff, da dessen völlige Ausscheidung nur unter gleichzeitiger sehr bedeutender Verschlackung an Eisen zu erreichen sein würde.

Hohe Temperatur steigert das Vereinigungsbestreben der im Eisen auftretenden Körper zum Sauerstoff, aber die des einen im stärkeren Maasse als die des anderen. Wie schon früher hervorgehoben wurde, wächst besonders das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs im hohen Grade mit der Temperatur, und eben durch diese Eigenschaft wird der Kohlenstoff befähigt, als Reductionsmittel für die Oxyde anderer Körper (des Mangans, Siliciums, der Alkalien u. a.) zu dienen, deren Verwandtschaft nicht in dem gleichen Maasse bei der Erhitzung zunimmt. Aus demselben Grunde erstreckt sich bei der Oxydation eines Eisens, welches Kohlenstoff, Silicium, Mangan u. s. w. enthält, die Verbrennung um so stärker auf den Kohlenstoffgehalt, und die übrigen Körper bleiben, so lange noch unverbrannter Kohlenstoff zugegen ist, um so mehr vor Verbrennung geschützt, je höher die Temperatur des Eisens ist. In einer Temperatur, welche die Schmelztemperatur des gewöhnlichen Roheisens nicht erheblich übersteigt, kann daher fast der gesammte Silicium- und Mangangehalt des Eisens verbrannt werden, ehe überhaupt die Verbrennung des Kohlenstoffs beginnt, während in höherer Temperatur (Schmelztemperatur des schmiedbaren Eisens) der Rest des Siliciums

1) In früherer Zeit nannte man jede Darstellung schmiedbaren Eisens Frischen, gleichviel, ob sie aus Erzen durch Reduction oder aus Roheisen durch Oxydation erfolgte. Erst im neunzehnten Jahrhundert beschränkte man allmählich die Benennung auf die Verarbeitung des Roheisens zu schmiedbarem Eisen.

und Mangans oft erst verbrannt wird, nachdem der Kohlenstoff annähernd vollständig entfernt worden ist.

Des Einflusses anwesender dritter Körper auf den Verlauf der Verbrennung ist schon auf Seite 41 gedacht worden. Durch Anwesenheit einer kieselsäurereichen Schlacke wird das Oxydationsbestreben solcher Bestandtheile des Eisens verstärkt, welche basische Verbrennungserzeugnisse bilden (Mangan, Eisen); die Verbrennung des Siliciums und Phosphors dagegen wird durch die Gegenwart basischer Körper befördert, mit denen sich ihre Verbrennungserzeugnisse zu Silikaten oder Phosphaten vereinigen können.

Aus diesem Grunde wird Phosphor bei Anwesenheit einer kieselsäurereichen Schlacke aus dem Eisen überhaupt nicht ausgeschieden; bei Anwesenheit basischer Schlacken erfolgt die Ausscheidung gleichzeitig mit der des Siliciums, sofern die Temperatur des Metalls die Schmelztemperatur des Roheisens nicht erheblich übersteigt, schon vor der Verbrennung des Kohlenstoffs; in höherer Temperatur dagegen ist sie wegen des geschilderten Verhaltens des Kohlenstoffs erst möglich, nachdem dieser annähernd vollständig verbrannt ist, und durch den Kohlenstoff des Eisens kann sogar in hoher Temperatur aus einer phosphorsäurehaltigen Schlacke Phosphor reducirt und an das Eisen zurückgeführt werden. Die verschiedenen Verfahren zur Abscheidung des Phosphors aus Roheisen beruhen auf diesem seinem Verhalten. Man kann ihn bei Anwesenheit basischer Körper (Eisenoxydul, Manganoxydul, Kalkerde) in niedriger Temperatur schon vor dem Kohlenstoff abscheiden, wobei jedoch, unvermeidlich auch der ganze Siliciumgehalt des Eisens verbrannt und ausgeschieden wird; oder man entfernt ihn in hoher Temperatur nach der grössten Menge des Kohlenstoffs (Thomasverfahren), wobei das Silicium schon vor dem Phosphor neben dem Kohlenstoffe abgeschieden wird.

Diese Rolle, welche die Anwesenheit dritter Körper bei der Verbrennung der Bestandtheile des Eisens spielt, erklärt es auch, dass der Kohlenstoff des Eisens in Oefen mit basischer Ausfütterung rascher und vollständiger als in solchen mit kieselsäurereichem Futter verbrennt. In letzteren ist das Verbrennungsbestreben des Eisens, dessen Oxydul als kräftige Base wirkt, durch die Berührung mit dem kieselsäurehaltigen Futter gesteigert, Eisen verbrennt reichlicher und der Kohlenstoff bleibt stärker geschützt; basische Ofenfutter geben geringere Veranlassung zur Eisenverbrennung, und der Kohlenstoff wird stärker beeinflusst.

Körper, deren Oxyde leichter reducirbar sind als die des Eisens, lassen sich aus diesem nicht durch Oxydation abscheiden, ohne dass zuvor die grösste Menge des Eisens verbrannt wird. Hierher gehören Kupfer, Kobalt, Nickel, Antimon, Arsen. Sie begleiten das Eisen, sofern sie einmal von ihm aufgenommen sind, durch alle Verarbeitungsstufen hindurch; und da bei Oxydationsverfahren wegen der stattfindenden Abscheidung anderer Stoffe die Gesammtmenge des Metalls, in dem sie gelöst sind, sich verringert, pflegt der Gehalt jener Bestandtheile des Metalles sich bei jedem neuen Oxydationsschmelzen, dem das Eisen unterworfen wird, zu erhöhen.

Schwefel kann zwar bei ausreichend langer Zeitdauer des Oxydationsverfahrens zum Theil zu schwefliger Säure verbrannt und als

solche verflüchtigt werden; bei der sehr starken Verdünnung aber, in welcher der Schwefel im Eisenbade vorzukommen pflegt, ist der Erfolg nur gering. Bei Anwesenheit basischer, insbesondere manganhaltiger, Schlacken pflegt ein anderer Theil des Schwefelgehalts von diesen im nicht oxydirten Zustande (als Sulfid) aufgenommen zu werden auf Grund der stärkeren Löslichkeit des Sulfids in der Schlacke als im Eisen; ein letzter Theil des Schwefels aber bleibt bei dem Eisen zurück.

Das Rosten und die Zerstörung des Eisens durch Flüssigkeiten.

Unter Rost im weiteren Sinne pflegt man jedes unter Einwirkung irgend einer sauren Flüssigkeit auf metallisches Eisen bei Zutritt der Luft entstandene basische, in Wasser unlösliche Eisensalz zu verstehen; im engeren Sinne bezeichnet man jenes braune, allein unter Einwirkung der Luftbestandtheile entstandene Gebilde des Eisens damit, welches anfänglich nur auf der Oberfläche bemerkbar, tiefer und tiefer eindringt, bis schliesslich ein ganzes Eisenstück in Rost umgewandelt ist.

Dieses leichte Rosten des Eisens setzt seiner Verwendung für manche Zwecke Schwierigkeiten entgegen. Schon Plinius bezeichnet den Rost als den Fluch, der auf dem Eisen laste als Vergeltung für die mancherlei Uebelthaten, zu denen es sich in den Händen der Räuber und Mörder gebrauchen lasse.

Der Rost besteht im Wesentlichen aus Eisenhydroxyd, und hieraus folgt schon, dass er in vollständig trockner Luft nicht entstehen kann; er enthält aber auch häufig kleine Mengen von Kohlensäure und wenigstens Spuren von Ammoniak. Calvert fand in dem Roste der Röhrenbrücke über den Conway 0,900 v. H. kohlensaures Eisen ($FeCO_3$), in einem anderen 0,617 v. H.

Hieraus lässt sich folgern, dass die Kohlensäure ebenfalls eine Rolle bei der Rostbildung zu spielen habe. Deutlicher noch zeigt sich dieser Einfluss, wenn man von zwei Eisenstücken das eine der Einwirkung gewöhnlichen, also kohlensäurehaltigen Wassers, das andere der Einwirkung kohlensäurefreien Wassers aussetzt; das erstere wird rasch sich mit Rost überziehen, das letztere lange Zeit hindurch geschützt bleiben, sofern nicht auch die äussere, stets kohlensäurehaltige Luft Zutritt hatte. Man macht hiervon Anwendung durch Zusatz von etwas gebranntem Kalk oder einer geringen Menge Alkalien zu Wasser, in welchem Eisengegenstände einige Zeit aufbewahrt werden sollen.

Ist Kohlensäure im Ueberschusse zugegen, der Zutritt freien Sauerstoffs dagegen abgehalten, so entsteht lösliches Carbonat; sobald aber die Luft zu der Lösung tritt, wird jenes zersetzt, und unlösliches Eisenhydroxyd gebildet, ein Vorgang, der für manche Erzablagerungen die Grundlage bildete.

Bei der gemeinschaftlichen Einwirkung der Kohlensäure und des Wassers auf das Eisen wird durch Zerlegung des Wassers Wasserstoff gebildet, welcher sich mit dem Stickstoffe der Luft zu Ammoniak verbindet. Schon 1683 wies Claude Bourdelin nach, dass bei der Einwirkung lufthaltigen Wassers auf Eisen Ammoniak entstände.[1] Ist

1) Dinglers polyt. Journal, Bd. 196, Seite 131.

Sauerstoff und Kohlensäure nur in beschränktem Maasse, Wasser im Ueberschuss zugegen, so kann wasserhaltiges Eisenoxyduloxyd entstehen. So z. B. fand Muck in dem Siederohre eines Dampfkessels pilzförmige Rostgebilde, welche neben kleineren, aus dem Speisewasser stammenden Mengen von Kalkerde, Kieselsäure und anderen Stoffen

Fe_2O_3	FeO	H_2O	CO_2	
66,84	23,24	2,75	2,32	Hunderttheile

enthielten.[1]) Die zur Rostbildung erforderliche kohlensäurehaltige Luft war hier durch das Speisewasser in den Kessel geführt worden, aber der Sauerstoffgehalt nicht ausreichend gewesen, ausschliesslich Eisenhydroxyd zu bilden. Der verhältnissmässig niedrige Wassergehalt ist vermuthlich durch die in dem Kessel herrschende höhere Temperatur bedingt.

Wenn demnach zur Bildung des Rostes im engern Sinne das Zusammenwirken dreier Körper — des Sauerstoffs, Wassers und der Kohlensäure — erforderlich ist, so kann doch die Kohlensäure durch andere Säuren, ja auch durch Lösungen gewisser Salze (Chloride des Magnesiums und der Alkalien u. a.) ersetzt werden, und der Vorgang bei der Einwirkung solcher säure- oder salzhaltigen Flüssigkeiten bei Luftzutritt auf das Eisen ist dem gewöhnlichen Rosten ganz ähnlich.

In der Nähe von Feuerungsanlagen, in welchen mineralische Kohlen verbrannt werden, kann die hierbei entwickelte schweflige Säure, welche unter Einwirkung des in der freien Luft stets vorhandenen Ozons und salpetrigsauren Ammons alsbald in Schwefelsäure sich umwandelt, die Rostbildung befördern. Auch Schwefelwasserstoff, in der Nähe menschlicher Wohnungen fast stets vorhanden, wird durch salpetrigsaures Ammon, wie Thörner nachwies,[2]) zu Schwefelsäure oxydirt, und in dem Roste, welcher unter solchen Verhältnissen entsteht, pflegt deshalb Schwefelsäure regelmässig nachweisbar zu sein. Thörner fand in 14 Rostproben, welche von sehr verschiedenartigen Gegenständen entnommen waren, 0,6 bis 9,4 v. H. Schwefelsäure.

Selbst Fette, die man nicht selten als schützenden Ueberzug für das Eisen gegen das Rosten benutzt, können, statt diese Aufgabe zu erfüllen, umgekehrt die Rostbildung befördern, wenn durch Zersetzung Fettsäuren aus ihnen entstanden.[3])

Die Widerstandsfähigkeit verschiedener Eisensorten gegenüber der Rostbildung, sowie der Einwirkung von Säuren überhaupt, ist, wie die Erfahrung lehrt, ziemlich abweichend. Theils spricht die chemische Zusammensetzung des Eisens hierbei mit, theils auch sein Gefüge und seine sonstige äussere Beschaffenheit. Einzelne mit dem Eisen legirte Körper erschweren das Rosten, andere befördern es. Auch mechanisch eingemengte Körperchen, z. B. Schlacke, können, indem sie galvanische Ströme mit dem Eisen erzeugen, das Rosten befördern; die gleiche Wirkung kann entstehen, wenn infolge einer Saigerung des erstarrenden

1) „Stahl und Eisen" 1888, Seite 837. Die Abhandlung enthält Mittheilungen über die vollständige Zusammensetzung und die muthmaassliche Ursache der eigenthümlichen Form der Rostgebilde.

2) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 830.

3) Annales des mines, série 7, tome 15, p. 234.

Eisens sich abweichend zusammengesetzte Verbindungen neben einander ablagern. Auf solche Entstehung galvanischer Ströme hat man wohl nicht mit Unrecht theils das oft abweichende Verhalten scheinbar gleicher Eisensorten, theils die Thatsache zurückgeführt, dass doch auch an einzelnen Stellen solchen Eisens, welches in kohlensäure- und luftfreiem Wasser aufbewahrt wurde, im Laufe der Zeit mitunter Rostbildung sich zeigte.

Auch die Art und Weise, wie die Rostbildung erfolgt, oder die Beschaffenheit der Flüssigkeit, welche das Eisen angreift, können Unterschiede bedingen, so dass ein in einem Falle widerstandsfähigeres Eisen in einem andern Falle sich als leicht zugänglich für das Rosten erweist.

Man ist daher nicht im Stande, ganz bestimmte Regeln über den Einfluss aller verschiedenen Begleiter des Eisens auf seine Widerstandsfähigkeit gegen das Rosten und gegen den Angriff von Säuren aufzustellen. Mitunter findet man z. B., dass manganhaltiges Eisen besonders leicht rostet; in anderen Fällen widersteht es besser als manganfreies, und sehr manganreiche Eisenlegirungen pflegen sich durch Widerstandsfähigkeit auszuzeichnen. Aehnliche Abweichungen zeigen sich in den Einflüssen eines Silicium-, Phosphor- und Kohlenstoffgehalts. Nachtheilig wirkt ein hoher Kohlenstoffgehalt in manchen Fällen, wenn er — im grauen Roheisen — als Graphit dem Eisen mechanisch eingelagert ist, indem er das Gefüge des Eisens auflockert und dieses den chemischen Einwirkungen zugänglicher macht; der Graphit selbst aber ist ein vollständig widerstandsfähiger Körper, und daher findet man andererseits Eisensorten, welche trotz hohen Graphitgehalts als ziemlich widerstandsfähig sich erweisen, sofern der Graphit in nicht allzu groben Blättern sich eingelagert findet.

Schwefel wirkt in allen Fällen nachtheilig; schwefelhaltiges Eisen verliert schon unter Einwirkung fliessenden Wassers im Laufe der Zeit einen Theil seines Schwefels. Dieser Vorgang aber ist nur durch Wasserzersetzung möglich, wobei Eisen oxydirt wird.

Versuche des Verfassers, bei welchen verschiedene Eisensorten in gleich grossen Würfeln und unter gleichen Verhältnissen der Einwirkung sehr verdünnter Schwefelsäure 65 Stunden hindurch ausgesetzt wurden,[1]) ergaben folgende Gewichtsverminderung des Eisens in Hunderttheilen des ursprünglichen Gewichts:

Spiegeleisen (mit etwa 10 v. H. Mangan, 4,5 v. H. Kohlenstoff)	14,1
Weisses kohlenstoffarmes Roheisen mit etwa 3,5 v. H. Kohlenstoff, 0,7 v. H. Phosphor, übrigens rein	19,7
Dunkelgraues Koksroheisen mit etwa 2,5 v. H. Silicium, 1,5 v. H. Mangan, 3,5 v. H. Graphit, 0,8 v. H. Phosphor .	27,6
Graues Holzkohlenroheisen mit etwa 1,8 v. H. Silicium, 1 v. H. Mangan, 3,5 v. H. Kohle, 0,6 v. H. Phosphor	37,7
Englischer Werkzeugstahl mit etwa 1 v. H. Kohle, übrigens rein .	66,5
Weiches Schmiedeeisen mit etwa 0,1 v. H. Kohle	88,6.

Hier erwies sich das mangan- und kohlenstoffreichste Eisen als am widerstandsfähigsten, und mit der Abnahme des Gehalts an Fremd-

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, Seite 280.

körpern verringerte sich ziemlich gleichmässig die Widerstandsfähigkeit gegen den Angriff der Säure.

Umfassendere Versuche wurden durch Gruner angestellt.[1]) Er stellte aus den zu untersuchenden Eisensorten quadratische Platten von 10 cm Seitenlänge dar, deren Oberfläche polirt wurde, worauf man sie verschiedenen Einwirkungen unterwarf, um schliesslich den eingetretenen Gewichtsverlust zu ermitteln. Aus den erlangten Ergebnissen mögen nachstehende hier Erwähnung finden.

	Gewichtsverlust		
	In feuchter Luft während 20 Tagen	In Meerwasser während 9 Tagen	In säurehaltigem Wasser während 10 Tagen
7 verschiedene Tiegelstahlproben mit 0,16 bis 1,56 v. H. Kohlenstoff, 0,12 bis 0,16 v. H. Mangan, 0,09 bis 0,32 Silicium.	4,0 bis 4,8 g; am geringsten beim kohlenstoffärmsten; übrigens unregelmässig	1,1 bis 2,2 g; am geringsten bei 0,6 v. H. Kohle	0,6 bis 1,2 g; am geringsten bei 0,45 v. H. Kohle; am stärksten bei 0,16 u. 1,56 v. H. Kohle
Mangan- und siliciumreicher Stahl mit 0,59 v. H. Kohlenstoff, 1,36 v. H. Mangan, 0,93 v. H. Silicium:			
a) nicht gehärtet. . . .	3,8 g	3,0 g	2,0 g
b) gehärtet.	4,8 „	2,8 „	5,3 „
Grobkörniges tiefgraues Roheisen mit 3,4 v. H. Mangan, 1 bis 2 v. H. Silicium, wenig Phosphor und Schwefel	4,1 „	3,5 „	9,2 „
Holzkohlengusseisen, zu Geschützguss benutzt, dann im Tiegel umgeschmolzen (jedenfalls graphitarm u. feinkörnig)	3,3 „	3,1 „	3,0 „
Geschirrguss, reich an Phosphor, im Tiegel umgeschmolzen .	2,9 „	5,0 „	5,8 „
Spiegeleisen mit etwa 20 v. H. Mangan	1,9 „	7,0 „	1,0 „

In süssem Wasser ergaben sich ähnliche Verhältnisszahlen als im Meerwasser; aber der gesammte Gewichtsverlust war bedeutend niedriger.

Auch bei diesen Versuchen erweist sich das an Mangan und zweifellos auch an Kohlenstoff reiche Spiegeleisen am widerstandsfähigsten gegen feuchte Luft und säurehaltiges Wasser, seltsamer Weise aber wenig widerstandsfähig gegen Meerwasser; der manganreichere Stahl dagegen ist durchschnittlich weniger widerstandsfähig als die sieben manganärmeren Stahlproben. Letztere widerstehen dem Angriffe des Meerwassers und des säurehaltigen Wassers besser als alle übrigen Eisensorten, werden aber durch feuchte Luft stärker als diese angegriffen.

Ein ebenfalls von Gruner angestellter Vergleich von chromhaltigem Stahl mit chromfreiem ergab, dass ersterer in feuchter Luft und in Säuren leichter als letzterer angegriffen werde.

Von Wichtigkeit ist bei zahlreichen Verwendungen des Eisens die Beantwortung der Frage, ob Flusseisen oder Schweisseisen

1) Annales des mines, série 8, tome 3, p. 5 (vergl. Litteratur).

dem Rosten stärker unterworfen sei, und seitdem man angefangen hat, ersteres in umfangreicherem Maasse zum Schiffsbau, für Anfertigung von Dampfkesseln und sonstigen, dem Angriffe des Wassers und der Luft ausgesetzten Gegenständen zu benutzen, ist man bemüht gewesen, durch vergleichende Versuche Aufschluss hierüber zu erlangen. Die ältesten derartigen Versuche von grösserem Umfange wurden im Jahre 1880 auf Veranlassung der englischen Gesellschaft Lloyds durch W. Parker mit zahlreichen Eisenblechen verschiedener Beschaffenheit angestellt.[1]) Diese Bleche wurden theils 437 Tage im Hafen zu Brighton im Meerwasser versenkt gehalten, theils 240 Tage unter dem Boden des Maschinenraumes eines Oceandampfers der Einwirkung der dort vorhandenen feuchten Luft unterworfen, theils 455 Tage lang auf einem Dache der Londoner City den Einflüssen der Atmosphärilien preisgegeben. Drei fernere Reihen derselben Bleche wurden zwischen den Röhren des Wasserraums von Marinedampfkesseln so aufgehängt, dass sie mindestens 30 cm unter der Wasserlinie blieben; und zwar befanden sich die Bleche einer dieser Reihe solcherart 361 Tage im Kessel eines Ostindienfahrers, in welchen zum Erschweren des Rostens Zink eingelegt wurde, und welcher nur selten entleert wurde; die Bleche einer zweiten Reihe hingen in gleicher Weise 264 Tage hindurch im Kessel eines Chinadampfers, der, ohne Benutzung von Zink, an jeder Endstation abgeblasen und frisch mit Meerwasser gefüllt wurde; die letzte Reihe Bleche endlich reiste 336 Tage hindurch im Kessel eines Küstendampfers, der sein Speisewasser aus einem Theile des Flusses Tyne erhielt, welcher durch die Abflusswässer einer grossen chemischen Fabrik stark verunreinigt und stark angesäuert war. Die Kessel wurden in jeder zehnten Woche abgeblasen und blieben stets vier Tage während fünfen unter Dampf.

Die spätere Untersuchung der Bleche ergab folgende Durchschnittsziffern für den Verlust durch Rost:

Eisensorten	Durchschnittliche Zusammensetzung der Eisensorten							Durchschnittlicher Gewichtsverlust in Pfunden durch Rost im Jahre auf 1 engl. Quadratfuss					
	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer	Mangan	Kobalt, Nickel	Im Meerwasser	Im Maschinenraume	In Londoner Luft	Im Dampfkessel des Ostindienfahrers	Im Dampfkessel des Chinadampfers	Im Dampfkessel des Küstenfahrers
2 Sorten gewöhnl. Puddeleisen . .	0,10	0,06	0,25	0,03	0,04	0,01	0,07	0,163	0,485	0,153	0,060	0,199	0,525
5 Sorten bestes Puddeleisen . .	0,11	0,11	0,11	0,01	0,02	0,01	0,01	0,195	0,526	0,166	0,067	0,194	0,633
4 Sorten weiches Flusseisen . .	0,15	0,02	0,06	0,06	Sp.	0,50	—	0,207	0,523	0,224	0,129	0,262	0,736

Das Flusseisen ist hier in fast allen Fällen etwas stärker angegriffen als das Schweisseisen (Puddeleisen), wobei vermuthlich sein

1) Journal of the Iron and Steel Institute 1881, p. 39 (vergl. auch Litteratur).

höherer Schwefelgehalt von Einfluss war; aber die Unterschiede sind nicht beträchtlich genug, um etwa ein allgemein gültiges Urtheil zu Ungunsten des Flusseisens zu rechtfertigen.

Ganz ähnliche Versuche wurden in den Jahren 1882 bis 1894 durch die Firma Fr. Krupp in Essen ausgeführt.[1]) Man benutzte Flusseisenbleche mit einem Gehalte (in Hunderttheilen) an

Kohlenstoff	Mangan	Phosphor	Schwefel
0,06 bis 0,38	0,15 bis 0,65	0,09 bis 0,13	0,04 bis 0,06

und Schweisseisenbleche mit einem Gehalte von

Kohlenstoff	Mangan	Phosphor	Schwefel
0,06 bis 0,09	0,15	0,10 bis 0,18	0,008 bis 0,015

und setzte die Proben, welche gleiche Abmessungen besassen, der Einwirkung der gewöhnlichen Luft, warmer feuchter Luft, warmen Kesselspeisewassers, des in einem Dampfkessel befindlichen Wassers und künstlichen Seewassers unter Luftzutritt aus. Beim Rosten in gewöhnlicher Luft, in warmem Speisewasser und in Kesselwasser blieben die Gewichtsverluste beider Eisengattungen ziemlich gleich, in warmer feuchter Luft und in Seewasser hatte das Schweisseisen etwas stärker als das Flusseisen gerostet.

Einen deutlichen Unterschied zu Gunsten des Flusseisens ergab ein auf Veranlassung des Verfassers angestellter Versuch, als die Frage vorlag, ob für eine anzulegende Aufschlagwasserleitung aus Eisenblech Flusseisen oder Schweisseisen zu wählen sei. Gleich grosse Proben der zur Wahl gestellten Bleche wurden 42 Stunden lang der Einwirkung sowohl ganz verdünnter Schwefelsäure als Salzsäure preisgegeben. Der Gewichtsverlust nach der angegebenen Zeit betrug:

	in Schwefelsäure	in Salzsäure
beim Flusseisen	0,322 v. H.	0,133 v. H.
beim Schweisseisen	0,998 „ „	0,462 „ „

also beim Schweisseisen etwa das Dreifache als beim Flusseisen.

Man darf aus allen diesen Versuchsergebnissen folgern, dass ein unbedingtes Urtheil über die Widerstandsfähigkeit beider Eisengattungen nicht möglich ist. Ein gleichartiges, gut durchgearbeitetes und insbesondere schlackenarmes Schweisseisen wird sich günstiger verhalten, als ein schwefelreiches, aus stark gesaigerten und mit Hohlräumen durchsetzten Blöcken gewalztes Flusseisen;[2]) umgekehrt wird Flusseisen sich als widerstandsfähiger erweisen, wenn es arm an Schwefel und aus dichten Blöcken gewalzt, das Schweisseisen dagegen ungenügend durchgearbeitet und noch reich an eingemengter Schlacke ist.

Dass eine Berührung des Eisens durch Zink, welches hierbei zum elektropositiven Pole wird und bei der Wasserzersetzung sich mit dem Sauerstoffgehalte des Wassers vereinigt, das Eisen vor dem Rosten zu schützen vermag, ist bekannt, und man macht nicht selten hiervon Anwendung. Umgekehrt wird die Neigung des Eisens zum Rosten verstärkt, wenn es mit Metallen in Berührung sich befindet, welche, wie

1) Ausführlicher Bericht in „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 561.

2) Ueber die Saigerung und die Entstehung von Hohlräumen in Flusseisenblöcken vergleiche Abtheilung 3 der Eisenhüttenkunde.

Kupfer, Zinn, Blei, hierbei negativ elektrisch werden. Während daher ein mit Zink überzogenes Eisenstück auch dann noch dem Rosten verhältnissmässig wenig unterworfen ist, wenn an einzelnen Stellen Beschädigungen des Ueberzuges eingetreten sind, schützt ein Zinnüberzug (z. B. bei Weissblechen) nur so lange als er vollständig dicht ist; wird er beschädigt, so tritt verstärktes Rosten ein.

Die Reduction der Eisenoxyde durch Kohle und Kohlenoxyd.

Eisenoxyde bilden in allen Fällen das Material, aus welchem das metallische Eisen abgeschieden wird, und als Mittel für ihre Zerlegung dienen vornehmlich Kohlenstoff im festen Zustande und gasförmiges Kohlenoxyd.

Da das Kohlenoxyd erst aus einer unvollständigen Verbrennung des Kohlenstoffs hervorgegangen ist, Kohlenstoff also in jedem Falle das ursprünglich benutzte Material bildet, pflegt man die Abscheidung des Eisens durch Kohlenstoff als direkte oder unmittelbare, die Abscheidung durch Kohlenoxyd als indirekte oder mittelbare Reduction zu bezeichnen. Die Ausdrücke bedürfen offenbar, um verstanden zu werden, einer besonderen Erläuterung und sind deshalb nicht gut gewählt.

Eisenoxyde mit höherem Sauerstoffgehalte, insbesondere das Eisenoxyd Fe_2O_3, geben bei Berührung mit den genannten reducirend wirkenden Körpern schon in verhältnissmässig niedriger Temperatur einen Theil ihres Sauerstoffgehalts ab, um in niedrigere Oxydationsstufen sich umzuwandeln. L. Bell fand, dass geröstete Clevelanderze schon bei 200 ° C. einen geringen Theil ihres Sauerstoffgehalts abzugeben vermögen;[1]) aber die Einwirkung ist sehr schwach, und bei einem derartigen Versuche wurde bei 227 ° C. innerhalb einer Stunde dem Erze nur etwa $^1/_{400}$ des an Eisen gebundenen Sauerstoffs entzogen.

Mit der Temperatur steigt die reducirende Kraft der einwirkenden Körper,[2]) und umgekehrt muss die Temperatur um so höher sein, je sauerstoffärmer der Rückstand sein soll. Nach Versuchen von Åkerman,[3]) deren Ergebnisse später durch Wiborgh[4]) Bestätigung fanden, kann Eisenoxyd Fe_2O_3 unter dem Einflusse von Kohlenoxyd schon bei 400 bis 450 ° C. zu Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4 reducirt werden, und Wiborgh fand, dass in derselben Temperatur unter ausreichend langer Einwirkung des Kohlenoxyds auf leicht reducirbare Erze sogar eine noch sauerstoffärmere Oxydationsstufe von der Zusammensetzung Fe_6O_7 entstehen könne. Zur Bildung von Eisenoxydul FeO ist in jedem Falle eine höhere Temperatur erforderlich; metallisches Eisen entsteht nach Åkermans Versuchen und früheren Beobachtungen Tunners[5]) erst bei mindestens 900 ° C., während Wiborgh beobachtete, dass aus leicht reducirbaren Erzen schon

1) L. Bell, Principles of the Manufacture of Iron and Steel, London 1884, Seite 191. J. L. Bell, Ueber die Entwickelung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen. Deutsch von P. Tunner. Leipzig 1870, Seite 106.

2) Auch von Schinz wurden Versuche angestellt. Vergleiche dessen Schrift: Dokumente, betreffend den Hochofen, Berlin 1868, Seite 74.

3) Jernkontorets Annaler 1882; daraus in „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 149.

4) „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 804 und 858.

5) Jahrbuch der k. k. österreichischen Bergakademieen, Band 9, Seite 309.

bei 700 ° C. metallisches Eisen entstehen und neben der Verbindung Fe_6O_7 auftreten könne.

Sieht man von diesen an und für sich nicht sehr erheblichen Unterschieden der Beobachtungsergebnisse ab, so ergiebt sich als Thatsache, dass zur vollständigen Reduction der Eisenoxyde immerhin eine Temperatur erforderlich ist, welche man im Mittel zu 800 ° C. annehmen kann, und dass die Bildung des metallischen Eisens befördert wird, wenn die Temperatur über jenes Maass hinaus steigt. Dient nun Kohlenoxyd als Reductionsmittel, so entsteht durch dessen Verbrennung Kohlendioxyd (Kohlensäure), welches nach Früherem (Seite 40) auf metallisches Eisen oxydirend einwirkt, sofern es nicht durch einen entsprechenden Ueberschuss des Reductionsmittels verdünnt ist. Die erforderliche Menge dieses Ueberschusses steigt mit der Temperatur, in welcher die Reduction von statten geht. In jener zur Abscheidung metallischen Eisens erforderlichen Temperatur müssen nach Åkermans erwähnten Versuchen in dem entstehenden Gasgemenge neben einem Raumtheil (Molekül) Kohlendioxyd mindestens noch zwei Raumtheile Kohlenoxyd anwesend sein, damit metallisches Eisen erfolgen kann, so dass die Formel

$$FeO + 3\,CO = Fe + CO_2 + 2\,CO$$

diese Beziehung ausdrückt.

Bildet dagegen Kohlenstoff das Reductionsmittel, so ist, sofern die Zerlegung nach der Formel

$$FeO + C = Fe + CO$$

von statten geht, ein Ueberschuss des Reductionsmittels nicht an und für sich erforderlich, da das erfolgende Kohlenoxyd nicht oxydirend auf metallisches Eisen einzuwirken vermag. Die geschilderten Beziehungen führen aber auch zu dem Schlusse, dass bei der Benutzung von Kohlenstoff als Reductionsmittel der Vorgang überhaupt nur in der durch die Formel angedeuteten Weise verlaufen, d. h. dass als Verbrennungserzeugniss der Kohle nur Kohlenoxyd, nicht Kohlendioxyd, entstehen kann, welches in der Reductionstemperatur des Eisens ein zweites Atom Kohlenstoff verbrennen, also wiederum Kohlenoxyd bilden würde.

Jener bei Benutzung von Kohlenoxyd als Reductionsmittel für Eisenoxyde unentbehrliche Ueberschuss des Reductionsmittels bildet unleugbar einen Nachtheil; fasst man jedoch den gesammten zur Reduction erforderlichen Wärmeverbrauch in's Auge, so zeigt sich, dass die Reduction durch Kohlenstoff einen erheblich grösseren Wärmeverbrauch erheischt, als die Reduction durch Kohlenoxyd, welcher Umstand das letztere Verfahren trotz jenes Nachtheils häufig als das wirthschaftlich vortheilhaftere erscheinen lässt.

Die Erklärung dieser Thatsache findet man bei der Erwägung, dass bei der Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlenoxyd ($FeO + C = CO$) jedes Kilogramm Sauerstoff nur 1850 W.-E., bei der Verbrennung von Kohlenoxyd zu Kohlendioxyd dagegen ($FeO + CO = CO_2$) 4200 W.-E. entwickelt.[1]) Uebersichtlicher lassen nachstehende Ziffern die Wärmeverhältnisse bei beiden Vorgängen erkennen.

1) Die Ziffern ergeben sich leicht aus den auf Seite 51 mitgetheilten Ziffern der Wärmeentwickelung bei Verbrennung des Kohlenstoffs und Kohlenoxyds.

a) Reduction durch Kohlenstoff nach der Formel $FeO + C = Fe + CO$.

Den Atomgewichten der hierbei in Beziehung tretenden Körper gemäss erhält man folgende Gewichtsverhältnisse, wobei das Kilogramm als Gewichtseinheit angenommen worden ist:

(56 kg Eisen + 16 kg Sauerstoff) + 12 kg Kohle = 56 kg Eisen + 28 kg Kohlenoxyd.

Bezieht man den Vorgang auf 1 (statt 12) kg Kohle, so erhält man ($^{14}/_3$ kg Eisen + $^4/_3$ kg Sauerstoff) + 1 kg Kohle = $^{14}/_3$ kg Eisen + $^7/_3$ kg Kohlenoxyd.

Da nun der Wärmeverbrauch zur Zerlegung einer chemischen Verbindung ebenso gross ist als der Wärmegewinn bei ihrer Entstehung, 1 kg Eisen aber bei der Verbrennung zu Eisenoxydul 1350 W.-E. entwickelt (Seite 53), ist das Verhältniss zwischen verbrauchter und gewonnener Wärme bei diesem Vorgange folgendes:

$^{14}/_3$ kg Eisen erheischen, um aus dem Eisenoxydul reducirt zu werden, einen Wärmeverbrauch = $^{14}/_3 \times 1350$	6300 W.-E.
1 kg Kohle liefert bei der Verbrennung zu $^7/_3$ kg Kohlenoxyd einen Wärmegewinn = ...	2470 „
also erforderlicher Reinverbrauch an Wärme .	3830 W.-E.

Man kann die Rechnung in derselben Weise auch auf 1 kg des dem Eisen entzogenen Sauerstoffs oder auch auf 1 kg reducirten Eisens beziehen und erhält alsdann:

Reiner Wärmeverbrauch bei der Reduction des Eisenoxyduls durch Kohle

für 1 kg entzogenen Sauerstoffs	2872 W.-E.
„ 1 „ reducirten Eisens	821 „

b) Reduction durch Kohlenoxyd nach der Formel $FeO + CO = Fe + CO_2$.

Die Gewichtsverhältnisse sind hierbei folgende:

(56 kg Eisen + 16 kg Sauerstoff) + 28 kg Kohlenoxyd = 56 kg Eisen + 44 kg Kohlendioxyd.[1])

Auf 1 kg des im reducirenden Kohlenoxyd enthaltenen Kohlenstoffs bezogen:

($^{14}/_3$ kg Eisen + $^4/_3$ kg Sauerstoff) + $^7/_3$ kg Kohlenoxyd = $^{14}/_3$ kg Eisen + $^{11}/_3$ kg Kohlendioxyd.

Demnach beträgt das Verhältniss zwischen verbrauchter und gewonnener Wärme:

$^{14}/_3$ kg Eisen erheischen einen Wärmeverbrauch (wie oben) .	6300 W.-E.
$^7/_3$ kg Kohlenoxyd liefern bei ihrer Verbrennung einen Wärmegewinn = $^7/_3 \times 2400$	5600 „
also erforderlicher reiner Wärmeverbrauch . . .	700 W.-E.

Durch eine gleiche Rechnung erhält man den reinen Wärmeverbrauch bei der Reduction des Eisenoxyduls durch Kohlenoxyd:

1) Der als Schutz gegen die Oxydationswirkung des entstehenden Kohlendioxyds erforderliche Ueberschuss von Kohlenoxyd spielt für die Wärmeentwickelung keine Rolle und ist deshalb hier ausser Betracht gelassen.

für 1 kg entzogenen Sauerstoffs 525 W.-E.
„ 1 „ reducirten Eisens 150 „

Für jedes Kilogramm Sauerstoff, welches dem Eisenoxydul entzogen wird, gebraucht man demnach bei der Reduction durch Kohle in runder Ziffer 2350 W.-E. mehr als bei der Reduction durch Kohlenoxyd. Der Unterschied besitzt besondere Bedeutung beim reducirenden Schmelzen im Hochofen, wie in der zweiten Abtheilung ausführlichere Erörterung finden wird.

Aehnliche Unterschiede ergeben sich, wenn man den Wärmeverbrauch zur Zerlegung höherer Oxydationsstufen des Eisens durch Kohle einerseits und durch Kohlenoxyd andrerseits berechnet. Stets kommt der Umstand in Betracht, dass die gleiche Menge Sauerstoff bei der Verbrennung von Kohlenoxyd zu Kohlendioxyd eine grössere Wärmemenge entwickelt als bei der Verbrennung von Kohle zu Kohlenoxyd, und bei jedem derartigen Vergleiche wird dieser Unterschied erkennbar.

Kohlenstoffausscheidung aus Kohlenoxyd auf Eisenoxyden.

Eine eigenthümliche Erscheinung zeigt sich, wenn Kohlenoxyd in niedrigeren Temperaturen als zur Ausscheidung metallischen Eisens erforderlich ist — vorwiegend in den Temperaturen zwischen 300 und 400 ° C. — auf Eisenoxyd (Erze oder künstlich dargestellte Oxyde) einwirkt. Das Kohlenoxyd zerfällt unter Abscheidung von Kohlenstoff, welcher sich als schwarzes Pulver ablagert:

$$2\,CO = C + CO_2.$$

Verwendet man zu einem solchen Versuche Erze in Stücken, so schwellen sie auf, bersten und zerfallen zu Pulver, welches mit dem abgelagerten Kohlenstoffe gemischt bleibt; die Kohlenstoffablagerung aber hört nicht etwa auf, sobald ein gewisses Verhältniss zwischen Eisen und Kohlenstoff erreicht ist, sondern sie dauert, so lange frisches Kohlenoxyd zugeleitet wird, ununterbrochen fort, ja, sie nimmt mit der Zeit an Geschwindigkeit zu. Auf einem Stück Rotheisenerz, welches von mir in dieser Weise behandelt wurde, hatte sich in einem Zeitraume von 41 Stunden die fünffache Menge des Erzgewichts an Kohlenstoff abgelagert;[1]) Wägungen, welche innerhalb bestimmter Zeiträume angestellt wurden, ergaben u. a., dass die Ablagerung in einer Stunde betrug:

in den ersten 6 Stunden wegen allzu niedriger Temperatur	0,0 v. H. des Erzgewichts
in der 6. bis 11. Stunde durchschnittlich	1,6 „ „ „ „
„ „ 11. bis 16. „ „	3,2 „ „ „ „
„ „ 16. bis 20. „ „	4,2 „ „ „ „
„ „ 20. bis 24. „ „	4,5 „ „ „ „
„ „ 24. bis 28. „ „	7,2 „ „ „ „
„ „ 28. bis 35. „ „	11,6 „ „ „ „
„ „ 35. bis 41. „ „	55,6 „ „ „ „

Die ersten Beobachtungen dieses Vorganges wurden 1851 durch Stammer gemacht, welcher fand, dass beim Hinüberleiten von Kohlenoxyd über glühendes Eisen sich eine sammetschwarze Masse abschied; später, nachdem auch L. Bell die in Rede stehende Einwirkung der Eisenoxyde auf Kohlenoxyd beobachtet und untersucht hatte, wies

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, Seite 278.

Gruner nach, dass auf metallischem Eisen, wie es von Stammer benutzt wurde, nur dann diese Kohlenstoffausscheidung vor sich geht, wenn es wenigstens eine Spur von oxydirtem Eisen enthält, welcher Fall allerdings fast regelmässig vorkommt.[1])

In Eisenhochöfen findet man mitunter an Stellen, wo sich Gelegenheit für eine ruhige, länger ausgedehnte Einwirkung von kohlenoxydhaltenden Gasen auf Eisenoxyd geboten hatte, Kohlenstoffablagerungen, in denen nur wenige Hunderttheile Eisen sich finden, ein Beweis dafür, dass der Vorgang, sobald er einmal angefangen hat, so lange fortdauert, als überhaupt Kohlenoxyd in der betreffenden Temperatur über die Stelle hinwegstreicht, wo die Ablagerung einmal begonnen hat. Eine von mir untersuchte derartige Kohlenstoffablagerung aus einem Hochofen enthielt nicht mehr als 2,99 v. H. Eisen. Werden eisenoxydhaltige feuerfeste Ziegeln zum Baue des Hochofens benutzt, so kann es geschehen, dass diese reichlich von abgelagerter Kohle durchsetzt werden, dadurch ihren Zusammenhang verlieren und schliesslich zerfallen.

Wie erwähnt, ist die günstigste Temperatur für die beschriebene Zersetzung des Kohlenoxyds 300 bis 400°. Unter 300° ist die Einwirkung gering oder gleich Null; in höheren Temperaturen tritt unter Einwirkung des Kohlenoxyds stärkere Reduction des oxydirten Eisens ein, während die Kohlenstoffablagerung entsprechend nachlässt. Stammers erwähnte Versuche sowie Beobachtungen im Betriebe lassen jedoch schliessen, dass bei einem reichlichen Verhältnisse des Kohlenoxyds im Gasstrome zu dem entstehenden Kohlendioxyd auch noch in Rothgluth Kohlenstoffablagerung stattfinden kann. Dass die Anwesenheit metallischen Eisens nicht, wie einige Forscher glaubten, für das Eintreten des Vorganges erforderlich ist, ergiebt sich aus der Thatsache, dass jene Kohlenstoffablagerung am stärksten in Temperaturen sich vollzieht, welche tiefer liegen als diejenige, bei welcher überhaupt metallisches Eisen aus seinen Oxyden erfolgt. Auch durch unmittelbare Versuche Åkermans ist die Unhaltbarkeit jener Theorie erwiesen.[2])

Nach Bell hört die Kohlenstoffablagerung auf, wenn die Raummenge des Kohlendioxyds im Gasstrome halb so gross ist als die des Kohlenoxyds. Da jedoch Kohlendioxyd auf Kohle um so stärker oxydirend wirkt, je höher die Temperatur ist, wird auch das Maass des zulässigen Kohlendioxydgehalts von der Temperatur abhängig sein und um so tiefer liegen, je höher die Temperatur ist.

Eine allseitig befriedigende Erklärung des beschriebenen wunderbaren Vorgangs ist bis jetzt nicht gefunden worden. Für den Betrieb ist der Vorgang nicht ohne Bedeutung, wie sich schon aus dem mitgetheilten Einflusse kohlenoxydhaltiger Gase auf eisenoxydhaltige Ofenbaustoffe ergiebt.

4. Eisen und Kohlenstoff.

Aufnahme des Kohlenstoffs durch Eisen.

Das Eisen besitzt ein starkes Bestreben, sich mit Kohlenstoff zu vereinigen. Daher ist es kaum möglich, Eisen durch Kohle oder kohlen-

1) Die betreffenden Abhandlungen der genannten Forscher sind unter Litteratur aufgeführt.

2) „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 157.

stoffhaltige Gase aus seinen Erzen abzuscheiden, ohne dass wenigstens kleine Mengen Kohle dabei von dem Eisen aufgenommen werden. Alles Handelseisen ist deshalb kohlenstoffhaltig, obgleich bei einigen Arten schmiedbaren Eisens die Menge des Kohlenstoffgehalts noch nicht 0,1 v. H. erreicht.

Schon bei einfacher Erhitzung des Eisens mit Kohle oder kohlehaltigen festen Körpern bis zur Rothgluth geht Kohlenstoff an das Eisen über, sofern der Kohlenstoffgehalt des letzteren ein von der herrschenden Temperatur abhängiges Maass noch nicht erreicht hatte, und vertheilt sich von der Berührungsstelle aus durch Molekularwanderung annähernd gleichmässig durch das ganze Eisenstück hindurch, indem das kohlenstoffreichere Molekül seinen überschüssigen Kohlenstoff an das benachbarte kohlenstoffärmere abgiebt. Auf diesem Vorgange beruht die in der dritten Abtheilung ausführlicher besprochene Darstellung des Cementstahls. Dass in der That eine Wanderung des Kohlenstoffs stattfindet, lässt sich besonders deutlich beobachten, wenn man zwei Eisenstücke mit verschiedenem Kohlenstoffgehalte in Berührung mit einander glüht. Das kohlenstoffreichere wird kohlenstoffärmer, das kohlenstoffärmere reicher. Bei einem derartigen Versuche Roystons[1]) wurde ein Stahlstab mit 0,95 v. H. Kohlenstoff zwischen zwei Eisenstäbe mit 0,15 v. H. Kohlenstoff gelegt und in einem Porzellanrohre 12 Stunden lang auf 900° C. erhitzt; der Kohlenstoffgehalt des Stahls hatte sich nach dem Glühen auf 0,42 v. H. verringert, derjenige der Eisenstäbe auf 0,29 v. H. erhöht, und der stattgehabten Gewichtsverringerung des Stahls entsprach genau die Gewichtszunahme des Eisens. Aehnliche Ergebnisse sind auch von anderen Forschern erlangt.[2])

Manchen Kohlenwasserstoffen, insbesondere den kohlenstoffreicheren, entzieht Eisen, wenn es im glühenden Zustande mit ihnen in Berührung tritt, einen Theil ihres Kohlenstoffgehalts. Leuchtgas, Petroleumdampf und andere kohlenwasserstoffreichere Gasgemische geben an kohlenstoffarmes Eisen in Rothgluth Kohlenstoff ab.[3]) Ebenso verhalten sich Cyangas und verschiedene Cyanide (Cyankalium, Cyannatrium u. a.). Blutlaugensalz (Kaliumeisencyanid) wird im Kleinbetriebe nicht selten benutzt, um durch Glühen mit Eisen dessen Kohlenstoffgehalt anzureichern.[4])

Keinen Einfluss in dieser Beziehung übt dagegen Kohlenoxyd. Eine Kohlung des Eisens durch Kohlenoxyd würde nur unter Bildung von Kohlendioxyd möglich sein ($2\,CO = C + CO_2$); Kohlendioxyd aber wirkt um so kräftiger oxydirend auf Kohlenstoff (Seite 45), je höher die Temperatur ist. Auch bei mehrstündigem Glühen von Eisen im

1) „Stahl und Eisen" 1897, Seite 629 (aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1897 1).

2) Z. B. von R. Mannesmann; Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1879, Seite 31.

3) Versuche über den Einfluss von Kohlenwasserstoffen, in Percys Laboratorium angestellt, sind mitgetheilt von Percy-Weddings Eisenhüttenkunde, 1. Auflage, Abtheilung I, Seite 137 bis 140. Versuche, durch R. Mannesmann ausgeführt, in dessen genannter Abhandlung, Seite 39.

4) Versuche Mannesmanns in genannter Abhandlung, Seite 40.

Kohlenoxydgasstrome findet keine deutliche Anreicherung des Kohlenstoffgehalts statt.[1])

Dass dagegen auf Eisen, welches noch Eisenoxyde enthält, in niedrigeren Temperaturen aus Kohlenoxyd Kohlenstoff abgelagert werden kann, ohne zunächst mit dem Eisen selbst sich zu vereinigen, folgt aus den früheren Mittheilungen über dieses Verhalten des Kohlenoxyds. Wird solches Eisen mit dem darauf abgelagerten Kohlenstoff nunmehr stärker erhitzt, so ist eine Aufnahme des Kohlenstoffs möglich.

Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff.

Trotz des starken Vereinigungsbestrebens des Eisens zum Kohlenstoff ist die Menge des letzteren, welche vom Eisen aufgenommen werden kann, beschränkt. Aus Versuchen verschiedener Forscher geht hervor, dass reines Eisen beim Zusammenschmelzen mit Kohlenstoff nur etwa 4,8 v. H. seines Eigengewichts aufzunehmen vermag,[2]) während in den meisten Fällen der Kohlenstoffgehalt des übrigens reinen Eisens 4 v. H. nicht erheblich übersteigt.

Fremde Körper, welche neben Kohlenstoff in dem Eisen anwesend sind, beeinflussen jedoch dessen Fähigkeit, Kohlenstoff aufzunehmen.

Mangan und Chrom erhöhen die Aufnahmefähigkeit des Eisens für Kohlenstoff. Eisenmanganlegirungen können ungefähr folgende Kohlenstoffgehalte besitzen, sofern sonstige, die Aufnahmefähigkeit abmindernde Körper nicht zugegen sind:

bei 10 bis 20	v. H.	Mangan	5,0	v. H.	Kohlenstoff,	
„ 35	„ „	„	5,5	„ „	„	
„ 50	„ „	„	6,0	„ „	„	
„ 65	„ „	„	6,5	„ „	„	
„ 80	„ „	„	7,0	„ „	„	
„ 90	„ „	„	7,5	„ „	„	

Legirungen der zuletzt angegebenen Zusammensetzung können demnach nur noch 2,5 v. H. Eisen enthalten.

In Eisenchromlegirungen hat man nachstehende Kohlenstoffgehalte gefunden:[3])

bei 18,0	v. H.	Chrom	5,8	v. H.	Kohlenstoff,
„ 48,0	„ „	„	7,2	„ „	„
„ 49,3	„ „	„	7,8	„ „	„

1) Versuche hierüber: Percy-Weddings Eisenhüttenkunde, 1. Aufl., Abth. 1, Seite 135. Auch Bell fand beim Erhitzen von Eisendrähten im Kohlenoxydgasstrome keine Zunahme des Kohlenstoffgehalts (Journal of the Iron and Steel Institute 1871 I, p. 163).

2) Saniter erhielt beim Schmelzen von reinem Eisendraht mit Kohle in einem Tiegel, welcher aus Lampenruss mit Zusatz von etwa 25 Hunderttheilen gebranntem Kalk gefertigt war, einen Metallkönig mit 4,81 v. H. Kohlenstoff, 0,04 v. H. Silicium (Journal of the Iron and Steel Institute 1897 II, p. 115, daraus in „Stahl und Eisen" 1897, Seite 957); gewöhnlich fällt der Kohlenstoffgehalt bei derartigen Versuchen etwas niedriger aus.

3) Nach Riley (Journal of the Iron and Steel Institute 1888 II, p. 165). Auch Brustlein fand in Chromeisen mit 42,0 v. H. Chrom 7,2 v. H. Kohlenstoff (Journal of the Iron and Steel Institute 1886 II, p. 770). Einige sonstige Analysen solcher Legirungen mit hohem Kohlenstoffgehalte, deren Richtigkeit jedoch nicht ausser allem Zweifel steht, sind in „Stahl und Eisen" 1889, S. 858, und 1893, S. 19 mitgetheilt.

Silicium, Schwefel und Phosphor verringern die Aufnahmefähigkeit des Eisens für Kohlenstoff. Annähernd, doch nicht genau, ersetzen diese Körper den Kohlenstoff im Verhältnisse ihrer Atomgewichte, so dass 1 Theil Silicium $^3/_7$ Theile Kohle, 1 Theil Schwefel $^3/_8$ Theile Kohle ersetzt. Eisen mit 2 v. H. Silicium und frei von Mangan enthält selten mehr als 3,8 v. H. Kohle; Eisenmangan mit 50 v. H. Mangan und 2 v. H. Silicium nicht über 5 v. H. Kohle. Falsch aber würde der Schluss sein, dass Eisen mit mehr als 12 v. H. Silicium nunmehr ganz kohlenstofffrei sein müsse, da dieser Siliciumgehalt, den Verhältnissen der Atomgewichte gemäss, jenen Gehalt von 4,8 v. H. Kohle ersetzen würde, welcher oben als höchster erreichbarer Gehalt im übrigens reinen Eisen bezeichnet wurde. Man findet auch neben dem angegebenen Siliciumgehalte gewöhnlich noch etwa 1 v. H. Kohlenstoff, und selbst wenn der Siliciumgehalt auf 16 v. H. steigt, kann daneben noch etwa 0,8 v. H. Kohlenstoff zugegen sein.

Aus Versuchen, welche im Kleinen früher von Karsten,[1]) später in Percys[2]) Laboratorium angestellt wurden, geht hervor, dass, wenn Schwefel von Eisen aufgenommen wird, welches seinen Sättigungsgehalt an Kohlenstoff besitzt, ein Theil dieses letzteren als fester Körper ausscheidet. Schwefelreiches Eisen enthält niemals so viel Kohle, als das schwefelarme aufzunehmen vermag. Beim Schmelzen von Eisen mit 4,5 v. H. Kohlenstoff unter Zusatz von Schwefeleisen erhielt Weston ein Schmelzerzeugniss mit nur 3,17 v. H. Kohlenstoff neben 2,12 v. H. Schwefel; gleiche Versuche mit demselben Eisen bestätigten regelmässig die Abnahme des Kohlenstoffgehalts bei Zunahme des Schwefelgehalts.

Ueber den Einfluss des Phosphorgehalts auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff liegen nur wenige Versuche vor; doch findet man in phosphorreichem Eisen niemals den im phosphorarmen Eisen erreichbaren höchsten Kohlenstoffgehalt. Ein durch reducirendes Schmelzen von Eisenerzen und Calciumphosphat mit einem reichlichen Ueberschuss von Kohle in einem kleinen Versuchshochofen dargestelltes und von mir untersuchtes Phosphoreisen enthielt

Phosphor	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
10,19	1,11	0,00	5,17;

Hilgenstock fand in einem ebensolchen Erzeugnisse mit 12,12 v. H. Phosphor nur 0,87 v. H. Kohlenstoff, während ein Eisen mit 3,26 v. H. Phosphor und 1,03 v. H. Silicium einen Kohlenstoffgehalt von 2,01 v. H. besass.[3])

Es ist sehr wahrscheinlich, dass auch Arsen, Antimon, Zinn, Aluminium das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohle abmindern, ohne dass bis jetzt zuverlässige Untersuchungen hierüber angestellt worden wären. In algierischen Geschützkugeln fand Berthier bis 27 v. H. Arsen neben nur 1 bis 1,5 v. H. Kohlenstoff;[4]) da aber die sonstigen Bestandtheile, insbesondere der Schwefelgehalt, nicht bestimmt wurden, lassen die Analysen keine sicheren Schlussfolgerungen zu. Durch Zu-

1) Karsten, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 3. Aufl. (1841), Bd. 1, Seite 427.
2) Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Band 1, Seite 277.
3) „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 5.
4) Annales des mines, 1837 p. 501.

satz von Zinn zu geschmolzenem kohlenstoffreichem Eisen soll ein Theil des Kohlenstoffs in gleicher Weise wie durch Zusatz von Schwefel zur Ausscheidung gebracht werden;[1]) genauere Ermittelungen liegen jedoch über diesen Einfluss nicht vor. Dass ein hoher, dem geschmolzenen Eisen zugesetzter Aluminiumgehalt dessen Sättigungsvermögen für Kohlenstoff abmindere, lässt sich aus einigen, bei Besprechung des Einflusses eines Aluminiumgehalts auf die Graphitbildung unten mitgetheilten Beispielen folgern.

Die Formen des Kohlenstoffs im Eisen.

Wie die oft erheblichen Abweichungen in dem physikalischen Verhalten und dem Bruchaussehen verschiedener Eisensorten mit gleichem Gesammtkohlenstoffgehalte uns schliessen lassen, und wie die chemische Untersuchung uns mit Sicherheit erkennen lässt, vermag der Kohlenstoffgehalt des Eisens verschiedene Formen anzunehmen, welche in abweichender Weise die Eigenschaften des Eisens beinflussen, und fast immer finden sich in einem und demselben Eisen mehrere dieser Kohlenstoffformen — mindestens zwei — neben einander.

Seitdem man diese Thatsache erkannt hat, ist man bemüht gewesen, das Wesen dieser Kohlenstoffformen und ihre besonderen Einflüsse auf das Verhalten des Eisens zu erforschen. Vollständig ist das Ziel bis heute nicht erreicht; manche Vorkommnisse bei der Herstellung, Verwendung und Untersuchung des Eisens lassen wenigstens vermuthen, dass es Kohlenstoffformen giebt, die uns noch unbekannt sind. Vorläufig kennt man nachstehend beschriebene Formen des Kohlenstoffs.

1. Graphit. Er besteht aus Kohlenstoff, welcher selbständig in Form von hexagonalen Täfelchen innerhalb des Gefüges des Eisens in annähernd gleichmässiger Vertheilung abgelagert wurde. Von kochender Salzsäure oder kochender, mässig starker Salpetersäure wird der Graphit nicht angegriffen; löst man daher graphithaltiges Eisen in diesen Säuren, so bleibt er neben anderen etwa anwesenden unlöslichen Bestandtheilen (z. B. Kieselsäure, aus dem Siliciumgehalte des Eisens beim Lösen entstanden) zurück. Seine Entstehung verdankt der Graphit einem Saigerungsvorgange, einem Zerfallen der Eisenkohlenstofflegirung, welche im flüssigen Zustande den Gesammtkohlenstoff in gelöster Form enthielt, während des Erstarrens.

Die, wie erwähnt, annähernd gleichmässige Vertheilung des Graphits im erstarrten Eisen liefert den unwiderleglichen Beweis, dass er nicht schon im flüssigen Eisen zugegen sein kann. Da er ein erheblich geringeres specifisches Gewicht als das Eisen besitzt (Graphit 2,3, Eisen 7,5), würde er im flüssigen Eisen emporsteigen und sich an der Oberfläche sammeln. Dieser Vorgang tritt thatsächlich dann ein, wenn Eisen in einer weit über seinem Erstarrungspunkte liegenden Temperatur infolge der Ueberhitzung mit Kohle übersättigt wurde und dann abkühlt; oder wenn kohlenstoffgesättigtes flüssiges Eisen noch Körper (z. B. Silicium) aufnimmt, welche sein Sättigungsvermögen abmindern. Ein entsprechender Theil des Kohlenstoffs scheidet dann aus dem flüssigen Eisen aus und schwimmt auf der Oberfläche. Diesen Graphit, welcher als eine

1) Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie 1861, Seite 22.

wirkliche Ausscheidung aus dem Eisen, nicht mehr als ein Bestandtheil desselben zu betrachten ist, pflegt man als Gaarschaum zu bezeichnen.

Auch jene Saigerung, welcher der im Eisen vertheilte Graphit entstammt, kann offenbar nur dann stattfinden, wenn das erstarrende Eisen weniger Kohlenstoff als das flüssige in Lösung zu halten vermag; mit anderen Worten, wenn das Sättigungsvermögen des erstarrenden Eisens für Kohlenstoff niedriger ist als das des flüssigen. Nicht bei jedem im flüssigen Zustande mit Kohlenstoff gesättigten Eisen liegt dieser Fall vor; Eisen, welches nur Kohlenstoff ohne sonstige Fremdkörper enthält, scheidet beim Erstarren keinen Graphit aus. Damit Graphitbildung stattfinde, muss neben dem Kohlenstoff noch ein zweiter Körper zugegen sein, welcher das Sättigungsvermögen des erstarrenden Eisens für Kohlenstoff stärker als das des vollständig flüssigen abmindert und solcherart während des Erstarrens den Kohlenstoff zwingt, aus seiner Lösung im Eisen auszukrystallisiren.

In den allermeisten Fällen, wo Graphitbildung stattfindet, spielt das Silicium diese Rolle.

Kleinere Mengen Silicium können neben kleineren Mengen Kohlenstoff im Eisen anwesend sein, ohne dass Graphitbildung eintritt; letztere beginnt, sobald der Gehalt beider Körper zusammen über ein gewisses Maass hinausgeht, und je mehr Silicium neben einem bestimmten Kohlenstoffgehalte anwesend ist, desto vollständiger wird letzterer beim Erstarren in Graphit umgewandelt. Anderntheils aber verringert sich, wie oben erwähnt wurde, mit zunehmendem Siliciumgehalte auch das Sättigungsvermögen des flüssigen Eisens für Kohlenstoff; aus diesem Grunde kann auch der Graphitgehalt eines Eisens, welches reich an Silicium ist, nicht so bedeutend sein als in einem solchen, welches eben nur jene zur Graphitbildung in einem mit Kohle gesättigten Eisen erforderliche Menge Silicium enthält.

Wie hoch jener Gehalt des Eisens an Kohle und Silicium sein kann, ohne dass Graphitbildung eintritt; oder welcher Siliciumgehalt in jedem einzelnen Falle erforderlich ist, um den anwesenden Kohlenstoffgehalt zur Umwandlung in Graphit beim Erstarren zu zwingen, lässt sich genau nicht angeben, da hierbei die Anwesenheit anderer Körper einerseits, sowie die Abkühlungsverhältnisse andererseits von Einfluss sind. In einem übrigens reinen Eisen, welches 4 v. H. Kohlenstoff enthält, ist gewöhnlich nur eine geringere Menge Silicium erforderlich, um einen Theil jenes Kohlenstoffs zur Ausscheidung zu bringen; enthält das Eisen nur 1 v. H. oder noch weniger Kohlenstoff, so können mehrere Hunderttheile Silicium neben letzterem anwesend sein, ohne dass Graphitbildung erkennbar wird.

Aehnlich wie Silicium, aber noch kräftiger, wirkt ein Aluminiumgehalt, welcher jedoch nur dann zugegen sein kann, wenn metallisches Aluminium dem flüssigen Eisen zugesetzt wurde. In Proben, welche man durch Zusatz verschiedener Mengen Aluminium zu geschmolzenem weissen Roheisen gewonnen hatte, fand Borsig folgende Bestandtheile:[1])

1) „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 10.

	Al	Graphit	Gesammt C	Si	Mn
Ohne Zusatz geschmolzen	0,00	0,05	3,04	0,25	Spur
Mit 0,5 v. H. Aluminium geschmolzen . .	0,05	0,08	3,03	0,23	"
" 1,0 " " " " . .	0,11	0,85	3,02	0,25	"
" 2,0 " " " " . .	0,16	1,53	3,21	0,28	"

Obgleich bei diesen Versuchen nur ein kleiner Theil des gegebenen Aluminiumzusatzes in dem Eisen zurückblieb, ist die Wirkung sehr deutlich. Um in einem Eisen mit dem nämlichen Gesammtkohlenstoffgehalte, wie bei den hier in Rede stehenden Proben, eine ebenso reichliche Graphitausscheidung zu veranlassen, würde etwa die zehnfache Menge Silicium als Aluminium erforderlich sein.[1])

Steigt aber der Aluminiumgehalt des Eisens über 1 v. H., so hört nach Versuchen Hoggs[2]) jene Einwirkung des Aluminiums nicht allein auf, sondern wandelt sich in das Gegentheil um: das Metall wird bei zunehmendem Aluminiumgehalte graphitärmer. So z. B. enthielt weisses Roheisen, nachdem es mit verschiedenen Mengen Aluminium geschmolzen worden war:

	Al	Graphit	Gesammt C	Si	Mn
Ohne Zusatz	0.00	0,67	3,62	0,45	nicht best.
Mit Zusatz	0,92	3,48	3.62	0,50	0,16
" "	4,05	2,05	3,58	0,42	nicht best.
" "	12,20	0,16	3,25	0,40	0,15

Auch bei siliciumreicherem, ursprünglich schon grauem Roheisen zeigte sich die nämliche Einwirkung eines hohen Aluminiumgehalts:

	Al	Graphit	Gesammt C	Si	Mn
Ohne Zusatz	0,00	2,33	4,18	0,75	0,28
Mit Zusatz	0.85	3,22	4,15	0,75	nicht best.
" "	1,92	2,77	4,18	0,67	" "
" "	3,86	1,67	4,07	0,62	0,20
" "	8,15	1,58	3,80	0,70	nicht best.
" "	11,85	0,22	3,44	0,62	0,20

Schon bei einem Aluminiumgehalte von 3,86 v. H. ist hier die Graphitbildung geringer als selbst im aluminiumfreien Roheisen; beachtens-

1) Borsig giebt zum Vergleiche der Einwirkung beider Körper folgendes Beispiel eines Roheisens mit annähernd dem gleichen Kohlenstoffgehalte, wie in den untersuchten Proben, aber mit steigendem Siliciumgehalte:

Si	Graphit	Gesammt C
0,28	0,00	3.03
0,67	0,15	2,92
0,84	0,49	3,14
1.45	0,85	3,02
1,55	1,15	3,23

2) Journal of the Iron and Steel Institute 1894 II, p. 104; daraus in „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 407.

werth ist auch in beiden Versuchsreihen die Abnahme des Gesammtkohlenstoffgehalts, wenn der Aluminiumgehalt über 4 v. H. steigt.

Auch ein hoher Nickelgehalt bewirkt neueren Beobachtungen zufolge Graphitbildung. Wedding[1]) giebt als Beispiele hierfür folgende Zusammensetzung zweier Proben Nickelstahl:

	Ni	Graphit	Gesammt C	Si	Mn
1.	58,72	0,70	0,94	0,10	0,07
2.	29,67	0,72	0,90	0,04	0,08

Mangan und Schwefel erschweren die Graphitbildung. Je grössere Mengen dieser Körper neben Kohlenstoff zugegen sind, desto mehr Silicium kann zugleich anwesend sein, ohne dass Graphitbildung eintritt. Es darf hierbei nicht ausser Acht gelassen werden, dass Mangan zugleich den Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff erhöht, Schwefel ihn verringert. Eine Eisenmanganlegirung mit 10 v. H. Mangan und 5 v. H. Kohle kann schon einige Tausendtheile Silicium enthalten, ohne dass Graphitbildung merkbar wird; bei 60 v. H. Mangan können neben 5 v. H. Kohle mehr als 2,5 v. H. Silicium zugegen sein, ohne Graphitbildung zu veranlassen.

Versuche, in Percys Laboratorium über die Einwirkung des Schwefels auf graphithaltiges Eisen angestellt, ergaben u. a.:

dass ein graphithaltiges Eisen mit 3,8 v. H. Kohle durch Zusatz von Schwefel, dessen Menge in dem erstarrten Eisen 2,1 v. H. betrug, seinen Kohlenstoffgehalt auf 3,17 v. H. verringerte und ohne Graphitausscheidung erstarrte;

ein graphithaltiges Eisen mit 4,39 v. H. Kohle unter Zusatz von Schwefel (im erstarrten Eisen 0,72 v. H.) sich in graphitarmes Eisen umwandelte, wobei die Abnahme des Kohlenstoffgehalts nicht ermittelt wurde.[2])

Leider war bei diesen Versuchen der anwesende Siliciumgehalt nicht ermittelt.

Auch dem Phosphor schreibt man mitunter die Eigenschaft zu, die Graphitbildung zu erschweren, ohne dass jedoch diese Annahme bisher durch zuverlässige Untersuchungen Bestätigung gefunden hätte. Manches sehr phosphorreiche Eisen ist zugleich reich an Graphit, wenn neben dem Phosphor ausreichende Mengen Silicium zugegen sind, um die Graphitbildung zu veranlassen.

Wie bei allen Saigerungsvorgängen spielen jedoch auch bei der Graphitbildung neben der chemischen Zusammensetzung des erstarrenden Metalls die Abkühlungsverhältnisse eine Rolle.

Langsame Abkühlung des erstarrenden, mit Kohlenstoff gesättigten Eisens befördert die Graphitbildung, rasche Abkühlung erschwert sie.

Ein und dasselbe Eisen kann daher verschiedenen Graphitgehalt besitzen, je nachdem es langsam oder rasch abgekühlt wurde; ja, in verschiedenen Querschnitten eines und desselben Eisenstücks pflegt der

1) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1898, Seite 85.
2) Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 1, Seite 281.

Graphitgehalt verschieden zu sein, an den Rändern und in dünneren Querschnitten, wo die Abkühlung rascher vor sich ging, schwächer als in stärkeren Querschnitten und in der Mitte.

Es verdient Erwähnung, dass der Gesammtkohlenstoffgehalt des Eisens in den verschiedenen Theilen des nämlichen Eisenstücks sich gewöhnlich umgekehrt verhält als der Graphit allein; er pflegt in den rascher erstarrenden Querschnitten grösser als in den langsamer erstarrenden zu sein. So z. B. fand ich in einer gegossenen Walze, deren Mitteltheil (Walzenbund) in gusseiserner Form gegossen, also rasch abgekühlt war, während die Zapfen in Masse gegossen waren und demnach langsamer erkalteten:

	Rasch erkalteter Theil	Langsam erkalteter Theil
Gesammtkohlenstoff	3,20	2,84
Graphit	0,19	1,93

und bei einer zweiten ebenso gegossenen Walze

	Rasch erkalteter Theil	Langsam erkalteter Theil
Gesammtkohlenstoff	3,08	2,40
Graphit	0,18	1,24

Durch beschleunigte Abkühlung, z. B. durch Eingiessen des flüssigen Eisens in metallene Formen ist man, wie die hier mitgetheilten Beispiele erkennen lassen, im Stande, bei manchen Eisensorten, welche bei langsamer Abkühlung Graphit in beträchtlichen Mengen ausscheiden würden, die Graphitausscheidung beinahe vollständig zu hintertreiben. Dickere Stücke von solchem Eisen, welche vom Rande her oder an bestimmten Stellen rasch abgekühlt wurden, in der Mitte oder an anderen Stellen dagegen langsamer erkalteten, zeigen an den ersteren Stellen keine Graphitausscheidung, sie erstarren als weisses Roheisen, während an den weniger rasch erkalteten Stellen oft reichliche Graphitbildung stattgefunden hat. Auf diesem Vorgange beruht die Herstellung des Hartgusses, d. h. gusseiserner Gebrauchsgegenstände, welche an einzelnen Stellen graphitreich, an anderen graphitarm sind. Auch die besprochenen Walzen waren solche Hartgussstücke.

Seltsamerweise beobachtete Hogg bei seinen oben mitgetheilten Versuchen über den Einfluss eines grösseren Aluminiumgehalts auf kohlenstoffreiches Eisen,[1]) dass im Gegensatze zu dem Verhalten des gewöhnlichen graphithaltigen Eisens bei langsamer und rascher Abkühlung, das Eisen, wenn es einen reichlichen Aluminiumzusatz erhalten habe, mehr Graphit bei rascher als bei langsamer Abkühlung ausscheide; z. B.:

	Al	Graphit	Gesammt C	Si	Mn
nach rascher Abkühlung .	3,86	2,68	4,01	0,69	0,20
nach langsamer Abkühlung	3,86	1,67	4,07	0,62	0,20
nach rascher Abkühlung .	4,05	2,25	3,58	0,42	nicht best.
nach langsamer Abkühlung	4,05	2,05	3,58	0,42	„ „

Eine Erklärung dieser auffälligen Erscheinung lässt sich finden, wenn man das Verhalten des Aluminiums zum Silicium berücksichtigt. Beide besitzen ein sehr starkes Vereinigungsbestreben, während Aluminium und Kohlenstoff sich nicht oder nur in sehr geringem Maasse vereinigen. Bei langsamer Erkaltung eines Roheisens, welches neben

1) Vergleiche Fussanmerkung 2 auf Seite 295.

Kohlenstoff auch jene beiden Körper enthält, entsteht, noch bevor die Graphitbildung beginnt, eine kohlenstofffreie Silicium-Aluminium-Eisenlegirung neben dem kohlenstoffhaltigen, aber an Silicium und Aluminium ärmeren Metall, und die Graphitausscheidung in letzterm ist geringer, als wenn die Abkühlung beschleunigt und dadurch die Gelegenheit zu dem erwähnten Saigerungsvorgange eingeschränkt wurde.

Roheisen mit weniger als 1 v. H. Aluminium verhält sich dagegen nach Borsigs Beobachtungen[1]) bei verschieden rascher Abkühlung hinsichtlich der Graphitbildung ebenso wie gewöhnliches siliciumhaltiges und aluminiumfreies Roheisen.

Aus dem schon erwähnten Umstande, dass Graphitbildung nur eintreten kann, wenn das flüssige Eisen mehr Kohlenstoff enthält, als das erstarrte in Lösung zu behalten vermag, ergiebt sich von selbst, dass überhaupt nur im kohlenstoffreichen Eisen, dem Roheisen, Graphit entstehen kann. Für das graue Roheisen bildet sein Graphitgehalt das kennzeichnende Merkmal; schmiedbares Eisen enthält keinen Graphit.

2. Karbidkohle. Diese Kohlenstoffform, welche zuerst im Jahre 1822 durch Faraday,[2]) später von Karsten,[3]) Caron,[4]) Rinman,[5]) Abel[6]) und Anderen beobachtet wurde und von Rinman die nicht gut gewählte Bezeichnung Cementkohle erhielt, tritt nicht, wie der Graphit, selbständig im Eisen auf, sondern sie bildet einen Bestandtheil einer Eisenkohlenstoffverbindung, welche, kohlenstoffreicher als alles flüssige Eisen und von unveränderlicher Zusammensetzung, sich während der Abkühlung eines vorher bis zur hellen Rothgluth erhitzten Eisenstücks von dem übrigen Eisen sondert, dieses netz- oder aderförmig durchsetzend. Mylius, Foerster und Schoene wiesen durch sorgfältige Untersuchungen nach, dass hier eine engere chemische Verbindung zwischen Eisen und Kohlenstoff, ein Karbid, vorliegt, welches 93,33 v. H. Eisen neben 6,66 v. H. Kohlenstoff enthält und demnach durch die chemische Formel Fe_3C gekennzeichnet wird.[7]) Wird das Karbid aus mangan- oder chromhaltigem Eisen abgeschieden, so pflegt ein Theil seines Eisengehalts durch Mangan oder Chrom ersetzt zu sein.[8]) Es hinterbleibt in Vermischung mit sonstigen unlöslichen Körpern (Graphit, Kieselsäure, Kupfer), wenn man das Eisen bei Luftabschluss längere Zeit (mindestens einige Tage) mit stark verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure ohne Erwärmung behandelt und den Rückstand ebenfalls bei Luftabschluss filtrirt, auswäscht und trocknet. Findet die Luft bei diesen Arbeiten Zutritt, so findet theilweise Zersetzung statt, wobei Eisen ge-

1) Fussanmerkung 1 auf Seite 94.
2) Philosophical Transactions 1822, p. 265.
3) Archiv für Bergbau und Hüttenwesen, Band 8 (1824), Seite 3.
4) Comptes rendus, t. 56, p. 43.
5) Journal für praktische Chemie, Band 100, Seite 33.
6) Engineering, vol. 39 (1885), p. 151.
7) Zeitschrift für anorganische Chemie, Band 13 (1896), Seite 38. Der gefundene Kohlenstoffgehalt schwankte zwischen 6,42 bis 6,71 v. H.
8) So z. B. fand v. Jüptner nach dem Auflösen eines Chromstahls mit 7,5 v. H. Chrom und 2,5 v. H. Kohlenstoff ein Karbid, welches 73,5 v. H. Eisen, 20,0 v. H. Chrom und 6,7 v. H. Kohlenstoff enthielt (Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, Band 1 (1896), Seite 500.

löst wird und Kohlenstoff zurückbleibt.[1]) Auch durch stärkere Säuren wird das Karbid unter Entwickelung von Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen zerlegt, und dieser Umstand ermöglicht bei der chemischen Untersuchung des Eisens eine Trennung der Karbidkohle vom Graphit.

Eigenthümlich ist ferner das Verhalten der Karbidkohle gegen Salpetersäure. Beim Auflösen des Eisens, welches diese Kohlenstoffform enthält, in kalter Salpetersäure hinterbleibt ein brauner flockiger Rückstand, welcher beim Erwärmen sich allmählich löst, der Flüssigkeit eine braune Farbe ertheilend.[2]) Das Maass dieser Färbung steht im Verhältnisse zu der gelösten Kohlenstoffmenge und man benutzt diesen Umstand für die colorimetrische Bestimmung des Kohlenstoffgehalts im Eisen.[3])

Nach Maassgabe der mitgetheilten Zusammensetzung des Karbids beträgt dessen Gehalt im Eisen das Fünfzehnfache des gefundenen Gehalts an Karbidkohlenstoff.

Das Eisenkarbid pflegt, sofern es aus grösseren Eisenstücken abgeschieden wurde, noch deren Form und Grösse zu besitzen, so dass selbst Feilstriche, welche ursprünglich vorhanden waren, noch erkennbar sind, während sich unter der Lupe wahrnehmen lässt, dass das Ganze aus einem Gewirr glänzender Nadeln und Blätter besteht, welche schon in dem ungelösten Stahle zugegen waren; scheidet man das Karbid dagegen aus feinzerkleintem Eisen ab, so hinterbleibt es in Form eines grauschwarzen Pulvers, welches unter dem Mikroskop als aus silberglänzenden Körnchen bestehend sich erweist. Die Härte dieser Körnchen ist beträchtlich und entspricht nach Müller ungefähr dem Härtegrade 6 der mineralogischen Härteskala (härter als Feldspath, weniger hart als Bergkrystall). Beim Erhitzen auf Rothgluth unter Luftabschluss bleibt es unverändert; in Weissgluth schmilzt es unter Abscheidung von Kohle, welche die geschmolzene Masse locker bedeckt und leicht davon getrennt werden kann, während diese nur noch etwa 4,3 v. H. Kohlenstoff enthält.[4])

Die Entstehung des Karbids beruht, ähnlich wie die des Graphits, auf einem Saigerungsvorgange, einem Zerfallen der in höherer Temperatur gleichartigen Lösung des Kohlenstoffs im Eisen, während allmählicher

1) Hinsichtlich der Ausführung des Verfahrens möge auf die in Fussanmerkung 7 a. S. 298 genannte Arbeit verwiesen werden. Schon früher als der Verfasser schied Fr. C. G. Müller das Karbid in der nämlichen Weise ab, filtrirte aber bei Luftzutritt und fand einen Kohlenstoffgehalt von 6,6 bis 7,7 v. H. („Stahl und Eisen" 1888, Seite 292). Abel (Fussanmerkung 6) gewann das Karbid durch Lösen des Eisens in einem Gemische von Schwefelsäure mit Kaliumbichromat.

2) Osmond und Werth fanden nachstehende Zusammensetzung der braunen Flocken: C = 44,59 v. H., Fe = 8,05 v. H., H_2O = 22,5 v. H., O + N = 24,86 v. H. (Annales des mines, série 8, t. 8, 1885, p. 5).

3) Die Bestimmung des Gesammtkohlenstoffgehalts im graphitfreien Eisen, insbesondere im schmiedbaren Eisen, auf Grund jenes Verhaltens der Karbidkohle wird durch den Umstand ermöglicht, dass das Gewichtsverhältniss der Karbidkohle zum Gesammtkohlenstoffgehalte bei gewöhnlicher Abkühlung des Eisens annähernd gleich zu sein pflegt (etwa 0,75). Näheres: Ledebur, Leitfaden für Eisenhüttenlaboratorien, 4. Auflage, Braunschweig 1895, Seite 69.

4) Mylius, Foerster und Schoene fanden 4,36 v. H., Saniter (Journal of the Iron and Steel Institute 1897 II, p. 117) 4,27 v. H. Kohlenstoff. Vergleiche auch die Mittheilungen über das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff auf Seite 291.

Abkühlung, nur mit dem Unterschiede, dass die Karbidbildung in einer weit unter dem Schmelzpunkte liegenden Temperatur sich vollzieht und in jedem kohlenstoffhaltigen Eisen bemerkbar wird, gleichviel, ob der Gesammtkohlenstoffgehalt hoch oder niedrig ist, und welche sonstigen Fremdkörper daneben zugegen sind. Nur wenn ein sehr hoher Siliciumgehalt des Eisens die völlige Umwandlung des Kohlenstoffs beim Erstarren in Graphit bewirkt (im Siliciumeisen mit 10 v. H. oder mehr Silicium) kann Karbidbildung nicht stattfinden. Die Temperatur, bei welcher das Karbid in dem erkaltenden Eisen entsteht, liegt nach Untersuchungen Osmonds,[1]) auf welche unten bei Besprechung der kritischen Punkte des kohlenstoffhaltigen Eisens eingehender Rücksicht genommen ist, zwischen 660 bis 708° C., und zwar im Allgemeinen um so höher, je kohlenstoffreicher das Eisen ist. Beim Erhitzen des karbidhaltigen Eisens über jene Temperatur hinaus, und zwar in der Regel in einer um etwa 40 Grade höher liegenden Temperatur, zerfällt das Karbid wieder, und sein Kohlenstoffgehalt vertheilt sich in der Gesammtmenge des Eisens, mit dieser eine gleichmässige Lösung bildend.[2])

Ein grösserer Gehalt des Eisens an Mangan oder Wolfram erschwert die Karbidbildung, ohne sie völlig zu hindern.[3])

Langsame Abkühlung befördert, rasche Abkühlung verhindert die Entstehung des Karbids. Auch in dieser Beziehung stimmt demnach der Vorgang der Karbidbildung mit dem der Graphitbildung und anderen Saigerungsvorgängen überein. Erwärmt man jedoch Eisen, welches nach plötzlicher Abkühlung, z. B. Ablöschen in Wasser, weniger Karbidkohle enthält, als es nach langsamerer Abkühlung besitzen würde, so tritt schon bei einer Temperatur von wenig über 100° C. Karbidbildung ein, und bei etwa 400° C. enthält das Metall annähernd die gleiche Menge Karbidkohle, die es bei gewöhnlicher Abkühlung besessen haben würde. Die Verhinderung der Karbidbildung beim Ablöschen des glühenden kohlenstoffhaltigen Eisens und die Neubildung des Karbids durch mässiges Erwärmen des abgelöschten Metalls bildet die Grundlage des später ausführlicher zu besprechenden Härtens und Anlassens des Stahls.

3. Temperkohle. Beim anhaltenden Glühen kohlenstoffhaltigen manganarmen Eisens in einer Temperatur, welche höher ist als die zur Bildung des vorstehend besprochenen Karbids erforderliche, tiefer als diejenige, bei welcher Graphit entsteht und nach Versuchen Roystons[4]) zwischen 720 bis 850° C. liegt, sondert sich eine Kohlenstoffform von dem übrigen Eisen, welcher man den Namen Temperkohle gegeben hat, weil sie vorzugsweise häufig beim Tempern, d. h. Weichmachen des Eisens durch anhaltendes Glühen, auftritt. Hämmern des glühenden Eisens befördert die Entstehung der Temperkohle. In einem weissen

1) „Stahl und Eisen" 1887, Seite 447; 1888, Seite 366; 1891, Seite 640; ferner in den unter Litteratur aufgeführten Abhandlungen des genannten Forschers.

2) Dass Kohlenstoff im hocherhitzten Eisen wandern, sich vertheilen könne, ohne dass dieses geschmolzen zu sein braucht, wurde schon auf Seite 290 durch Mittheilung anderer Vorgänge erwiesen.

3) „Stahl und Eisen" 1887, Seite 449 (Osmond), 1891, Seite 297 (Ledebur).

4) „Stahl und Eisen" 1897, Seite 629 (aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1897).

Roheisen mit 3,85 v. H. Gesammtkohlenstoffgehalt, 0,29 v. H. Silicium, 0,15 v. H. Mangan fand Royston,[1]) nachdem es auf 1030°, also nahe bis zum Schmelzen, erhitzt und dann während der Abkühlung mit dem Hammer bearbeitet worden war, 3,15 v. H. Temperkohle; ein Werkzeugstahl mit 1,54 v. H. Gesammtkohlenstoffgehalt enthielt nach einer von mir angestellten Untersuchung 0,66 v. H. Temperkohle, nachdem er kurze Zeit zum Rothglühen erhitzt, hierauf unter langsamen Hammerschlägen unter Rothgluth abgekühlt und dann durch rasch auf einander folgende Hammerschläge wieder zum Erglühen erhitzt worden war, worauf er ruhiger Abkühlung überlassen wurde.[2])

Auf der Bruchfläche des Eisens ist die Temperkohle, sofern sie in einigermaassen reichlichen Mengen auftritt und ihre Gegenwart nicht etwa durch gleichzeitig anwesenden Graphit verdeckt wird, in Form feiner schwarzer Pünktchen erkennbar, welche entweder annähernd gleichmässig auf der Bruchfläche vertheilt sind oder auch zu einzelnen Gruppen von oft mehreren Millimetern Durchmesser zusammentreten, so dass die Bruchfläche dadurch ein gesprenkeltes Aussehen erhält. Beim Auflösen des Eisens in Säuren verhält sich die Temperkohle ebenso wie Graphit, d. h. sie hinterbleibt als schwarzer Rückstand, ohne von der Säure angegriffen zu werden. Wir besitzen daher bis jetzt kein Mittel, sie, wo sie neben Graphit auftritt,[3]) getrennt von diesem zu bestimmen, und sie wird häufig mit diesem verwechselt. Von dem Graphit unterscheidet sich die Temperkohle theils durch ihre amorphe Form, während der Graphit krystallisirt ist, theils durch ihr chemisches Verhalten beim Glühen des Roheisens in Berührung mit oxydirenden Körpern, z. B. Eisenoxyden. Während der Graphit diesen Einflüssen gegenüber widerstandsfähig ist, tritt die Temperkohle unter Bildung von Kohlenoxyd aus dem Eisen aus (vergleiche Seite 275); ja, Forquignon fand, dass selbst trockenes Wasserstoffgas fähig sei, die beim zuvorigen Glühen entstandene Temperkohle (von ihm Graphit genannt) unter Bildung von Kohlenwasserstoff auszutreiben.[4]) Lässt man ein glühendes Eisenstück, welches Temperkohle enthält, rasch abkühlen, bevor die Temperatur unter 720° C. gesunken ist, so fällt der Gehalt an Temperkohle niedriger aus als bei langsamer Abkühlung; wird ein zuvor geglühtes und langsam abgekühltes, Temperkohle enthaltendes Eisen auf's Neue über 720° erhitzt und dann rasch abgekühlt, so kann sich der Gehalt an Temperkohle verringern. Auch in dieser Hinsicht unterscheidet sich die Temperkohle vom Graphit.

Ob die Temperkohle, wie der Graphit, im Eisen bereits als selbstständig ausgeschiedener Kohlenstoff auftritt, oder ob sie, wie die Karbidkohle, den Bestandtheil eines anderen, kohlenstoffreicheren, beim Glühen

1) Wie Fussanmerkung 4 a. v. S.

2) „Stahl und Eisen" 1895, Seite 949.

3) Vermuthlich enthält manches graue Roheisen neben dem Graphit auch Temperkohle, bei allmählicher Abkühlung entstanden. In Ermangelung eines geeigneten Trennungsverfahrens lassen sich beide Kohlenstoffformen nur gemeinschaftlich bestimmen und werden dann als Graphit aufgeführt.

4) Annales de chimie et de physique, série 5, t. 23, p. 443; daraus in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 383.

in höherer Temperatur entstehenden Karbids bildet, welches durch heisse Säuren unter Zurücklassung des Kohlenstoffgehalts in Pulverform zerlegt wird, liess sich bis jetzt nicht ermitteln. Das erwähnte Verhalten der Temperkohle beim Glühen legt die letztere Annahme ziemlich nahe.

Ein grösserer Mangangehalt des Eisens erschwert die Bildung der Temperkohle; welchen Einfluss die übrigen Begleiter des Eisens, insbesondere Silicium, Phosphor, Schwefel, ausüben, ist bislang nicht ermittelt worden.

4. Härtungskohle. Diese Kohlenstoffform ist in dem Eisen gleichmässig, aber in wechselnder Menge, gelöst, mit ihm legirt. Alles flüssige Eisen enthält nur Härtungskohle; beim Erstarren erst bildet sich, wie beschrieben wurde, Graphit, später das Karbid mit der Karbidkohle und beim längern Glühen die Temperkohle; wird Eisen, welches diese Kohlenstoffformen enthält, bis zum Schmelzen erhitzt, so löst sich zunächst das Karbid, dann die Temperkohle, zuletzt der Graphit.

Beim Auflösen des Eisens, welches Härtungskohle enthält, in kalter Salzsäure oder Schwefelsäure (auch in stark verdünnter) entweicht die Härtungskohle als stark riechendes Kohlenwasserstoffgas (Unterschied von der Karbidkohle, welche von verdünnter kalter Säure nicht angegriffen wird); beim Auflösen des Eisens in kalter Salpetersäure hinterbleibt sie zunächst als tiefschwarzer Rückstand, welcher sich deutlich von den braunen Flocken der Karbidkohle unterscheidet, beim Schütteln sehr rasch, in der Ruhe nach einigen Minuten sich löst, beim Erwärmen der Lösung auf 100° C. aber gasförmig entweicht, wobei die anfänglich dunklere Lösung zusehends heller wird.[1])

Der Gehalt eines Eisens, dessen Gesammtkohlenstoffgehalt gegeben ist, an Härtungskohle muss offenbar um so niedriger ausfallen, in je reicheren Mengen die übrigen Kohlenstoffformen sich zu bilden Gelegenheit fanden. Während langsame Abkühlung die Entstehung von Graphit und Karbidkohle befördert, verringert sie die Menge der zurückbleibenden Härtungskohle, und durch anhaltendes Glühen mit darauf folgender langsamer Abkühlung lässt sich der Gehalt eines Eisens an Härtungskohle fernerhin abmindern, unter Umständen ganz in Temperkohle umwandeln.

Ein hoher Siliciumgehalt des Eisens wirkt dem Zurückbleiben reichlicher Mengen von Härtungskohle im erkalteten Eisen entgegen, indem er die Entstehung von Graphit, vermuthlich auch von Karbidkohle, befördert; Mangan und Wolfram befördern das Zurückbleiben der Härtungskohle.

Den Namen Härtungskohle für diese Kohlenstoffform hat man gewählt, weil von ihrem Gehalte wesentlich der Härtegrad des Eisens und Stahls, zumal des Werkzeugstahls, abhängt. Beim Ablöschen des glühenden Stahls in Wasser bleiben reichliche Mengen Härtungskohle zurück, der Stahl wird „gehärtet"; beim Wiedererwärmen verringert sich die Menge der Härtungskohle unter Bildung von Karbidkohle, wie schon erwähnt wurde, der Stahl wird „angelassen", d. h. er verliert an Härte.

1) Die Beobachtung wurde zuerst durch Osmond und Werth in bestimmter Form ausgesprochen. Vergl. „Stahl und Eisen" 1886, Seite 376.

Karbidkohle und Härtungskohle zusammen, also diejenigen beiden Formen des Kohlenstoffs, welche bei Behandlung des Eisens mit kochenden Säuren unter Zurücklassung des Graphits und der Temperkohle entweichen oder gelöst werden, pflegt man als gebundenen Kohlenstoff zu bezeichnen. Nicht zutreffend ist der ebenfalls mitunter angewendete Ausdruck „amorpher Kohlenstoff“. Auch die Temperkohle hinterbleibt, wie erwähnt wurde, beim Auflösen des Eisen im amorphen Zustande.

5. Sonstige Kohlenstoffformen. Für die Beurtheilung des Verhaltens kohlenstoffhaltigen Eisens haben bislang nur die vier vorstehend besprochenen Kohlenstoffformen Bedeutung erlangt. Einige Forscher wollen das Auftreten von Karbiden nachgewiesen haben, deren Zusammensetzung von der des oben besprochenen Karbids Fe_3C abweicht, doch fehlt hierfür noch die Bestätigung.[1]) Dagegen ist es kaum zweifelhaft, dass im kohlenstoffhaltigen Eisen ein Theil des Kohlenstoffgehalts als Diamant — allerdings in sehr geringen Abmessungen — auskrystallisiren kann. Moissan[2]) fand Diamanten im Eisen, welches stark über seine Schmelztemperatur hinaus erhitzt und dann rasch abgekühlt worden war; später entdeckte Franck[3]) auch solche im gewöhnlichen Stahl. Dass das Auftreten dieser Kohlenstoffform für die Erzeugung oder Verwendung des Eisens besondere Bedeutung besitze, ist nicht wahrscheinlich.

Beispiele des Auftretens der Kohlenstoffformen in verschiedenen Eisensorten.[4])

	Graphit und Temperkohle	Karbidkohle	Härtungskohle	Gesammtkohlenstoff
1. Tiefgraues Roheisen mit 2,77 v. H. Silicium, 0,80 v. H. Phosphor, 0,02 v. H. Schwefel, 1,30 v. H. Mangan . . .	3,33	0,44	0,00	3,77
2. Lichtgraues Roheisen mit 1,02 v. H. Silicium, 0,59 v. H. Phosphor, 0,09 v. H. Schwefel, 0,28 v. H. Mangan . . .	2,40	0,73	0,17	3,30
3. Gewöhnliches weisses Roheisen mit 0,72 v. H. Silicium, 0,10 v. H. Mangan, 0,20 v. H. Schwefel	0,16	1,88	0,54	2,58
4. Spiegeleisen mit 0,30 v. H. Silicium, 11,11 v. H. Mangan	0,00	3,09	1,41	4,50
5. Eisenmangan mit 2,07 v. H. Silicium, 46,54 v. H. Mangan	0,00	3,06	1,64	4,70

1) So z. B. glaubte Müller ein Karbid von der Formel FeC_8 beobachtet zu haben (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 22, Seite 456), Arnold ein solches von der Formel $Fe_{24}C$ (Proceedings of the Institution of Civil Engineers 1895: The influence of carbon on iron). Beide Formeln haben wenig Wahrscheinlichkeit für sich.

2) Comptes rendus, vol. 118, p. 320.

3) „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 585. Die Abhandlung enthält auch Abbildungen der abgeschiedenen Diamanten in 300facher Vergrösserung.

4) Die Proben 11 und 12 sind von Mukai (Studien über Manganstahl, Freiberg 1892), die übrigen von mir untersucht.

	Graphit und Temperkohle	Karbidkohle	Härtungskohle	Gesammtkohlenstoff
6. Hartguss (weisser Theil) mit 0,83 v. H. Silicium, 0,15 v. H. Mangan, 0,88 v. H. Phosphor, 0,10 v. H. Schwefel . .	0,19	2,43	0,58	3,20
7. Weisses Roheisen mit 0,87 v. H. Silicium, 0,10 v. H. Mangan				
a) ungeglüht	0,00	nicht best.	nicht best.	2,82
b) nach 108 stündigem Glühen bei etwa 900° C.	1,55	nicht best.	nicht best.	2,29
8. Gegossener Stahl (Formguss) mit 0,28 v. H. Silicium, 0,20 v. H. Mangan				
a) ungeglüht	0,00	0,62	0,36	0,98
b) nach 12 stündigem Glühen bei etwa 800° C.	0,01	0,92	0,16	1,09
9. Geschmiedeter Stahl (Werkzeugstahl) mit 0,11 v. H. Silicium, 0,11 v. H. Mangan				
a) in gewöhnlicher Weise abgekühlt (naturhart)	0,00	0,71	0,22	0,93
b) durch Ablöschen in Wasser gehärtet	0,00	0,38	0,65	1,03
c) nach dem Härten bis zur blauen Anlauffarbe (welche in einer Temperatur von etwa 290° C. erscheint) angelassen	0,00	0,67	0,36	1,03
10. Weiches Flusseisen ohne Silicium mit 0,58 v. H. Mangan				
a) wie gewöhnlich abgekühlt . .	0,00	0,17	0,05	0,22
b) in Wasser abgelöscht	0,00	0,17	0,04	0,21
11. Manganstahl mit 10,61 v. H. Mangan				
a) naturhart	0,00	0,59	0,68	1,27
b) in Wasser abgelöscht	0,00	0,29	0,82	1,17
12. Manganstahl mit 12,34 v. H. Mangan				
a) naturhart	0,00	0,77	0,43	1,20
b) in Wasser abgelöscht	0,00	0,41	0,75	1,16
13. Werkzeugstahl				
a) glühend geschmiedet bis zur Abkühlung unter Rothgluth, alsdann durch rasche Hammerschläge auf's Neue zum Erglühen gebracht	0,66	0,38	0,50	1,54
b) derselbe Stahl nach abermaligem Erhitzen auf Dunkelrothgluth und Ablöschen in Wasser	0,63	0,34	0,52	1,49
14. Amerikanisches Gussstück (sogenanntes black-heart-casting)				
a) anhaltend geglüht und ganz langsam abgekühlt	2,05	nicht best.	nicht best.	2,12
b) nach abermaliger Erhitzung auf 920° C. an der Luft abgekühlt	1,42	0,78	0,05	2,25
c) wie Probe b erhitzt und in Wasser abgelöscht	1,47	0,31	0,45	2,23

Der Gehalt an Graphit und Temperkohle ist am bedeutendsten im grauen Roheisen (Probe 1 und 2) und verschwindet vollständig im ungeglühten schmiedbaren Eisen und in den meisten Sorten weissen Roheisens.

Karbidkohle findet sich in allen untersuchten Eisensorten. Dass auch Hartguss trotz der nach dem Giessen eintretenden plötzlichen Abkühlung reich an Karbidkohle ist, findet leicht seine Erklärung, wenn man erwägt, dass jene Abkühlung zwar ein rasches Erstarren der äusseren Kruste eines Abgusses herbeiführt und hierdurch die Graphitbildung innerhalb dieser Kruste behindert, nicht aber ein sofortiges Erkalten der Kruste unter diejenige Temperatur bewirkt, bei welcher das Karbid entsteht. Durch Wärmeabgabe von dem im Innern des Abgusses eingeschlossenen heissern Metalle wird auch die graphitarme Kruste lange und stark genug erhitzt, um die Bildung reichlicher Mengen von Karbid zu ermöglichen.

Berechnet man mit Hülfe der oben gegebenen Verhältnisszahl (1:15) aus dem gefundenen Karbidkohlenstoff die Menge des in dem erkalteten Eisen vertheilten Karbids, so ergiebt sich, dass diese in dem untersuchten Spiegeleisen und Eisenmangan annähernd die Hälfte, in dem untersuchten Hartguss etwa 40 v. H., in dem Weisseisen etwa 30 v. H. der Gesammteisenmenge beträgt. In dem ungeglühten gegossenen Stahl beschränkt sich die Menge des Karbids auf etwa 10 v. H., in dem weichen Flusseisen auf nur etwa 2,6 v. H.

Die Härtungskohle fehlt gänzlich in dem an Graphit reichen tiefgrauen Roheisen, fast gänzlich im weichen Flusseisen (Probe 10) und dem anhaltend geglühten Gussstücke mit 2,25 v. H. Gesammtkohlenstoff (Probe 14b); das Verhältniss der Härtungskohle zur Karbidkohle ist in allen manganreichen Eisensorten (Proben 4, 5, 11, 12) am bedeutendsten. Die Umwandlungen, welche die Härtungskohle beim Glühen unter verschiedenen Verhältnissen erleidet, zeigen die Untersuchungen des geglühten weissen Roheisens (Probe 7) und des gegossenen Stahls (Probe 8). Ersteres wurde lange Zeit in höherer Temperatur geglüht, und aus der ursprünglich vorhanden gewesenen Härtungs- und Karbidkohle ist zum grössten Theile Temperkohle geworden; bei dem kürzere Zeit währenden Glühen des gegossenen Stahls in weniger hoher Temperatur ist zwar ein reichlicher Theil der ursprünglich vorhandenen Härtungskohle in Karbidkohle übergegangen, Temperkohle aber hat sich nur in unbedeutender Menge gebildet.

Den Einfluss des Ablöschens (Härtens) und Wiedererwärmens (Anlassens) auf die Kohlenstoffformen lassen die Untersuchungen des Werkzeugstahls (Probe 9) und des Manganstahls (Probe 11 und 12) deutlich erkennen. Keine Veränderung der Kohlenstoffformen durch Ablöschen ist dagegen bei dem weichen Flusseisen (Probe 10) bemerkbar: das Eisen war nicht härtbar.

Die Proben 13 und 14 liefern den Beweis, dass der Gehalt an Temperkohle zwar unverändert bleibt, wenn das betreffende Eisenstück abgelöscht wird, nachdem es nur kurze Zeit und auf weniger hohe Temperatur erhitzt worden war (Probe 13b), während eine Abnahme stattfinden kann, wenn die Erhitzung ausreichend stark war (Probe 14a, b, c).

Die kritischen Punkte des kohlenstoffhaltigen Eisens.

Die Bildung des Graphits sowohl als des Eisenkarbids Fe_3C — vermuthlich auch die der Temperkohle, obwohl hierüber noch Ermittelungen

fehlen — ist mit einer Wärmeentwickelung während des Abkühlens des Eisens begleitet; gehen bei der Erhitzung des erkalteten Eisens jene Bestandtheile wieder in Lösung, so wird dabei die gleiche Wärmemenge verbraucht, welche bei ihrer Bildung entwickelt wurde. Hierdurch entstehen Haltepunkte oder kritische Punkte in dem Verlaufe der Abkühlung und Erwärmung, welche die Lage und Zahl der auch im reinen Eisen zu beobachtenden Haltepunkte (Seite 262) beeinflussen.[1])

Während das reine Eisen, wie früher mitgetheilt, zwei solcher Haltepunkte bei etwa 750 und 850° erkennen lässt, tritt im kohlenstoffhaltigen Eisen, sofern der Kohlenstoffgehalt gering ist (niedriger als 0,3 v. H.), ein dritter Haltepunkt bei ungefähr 675° C. hinzu, welcher durch die Karbidbildung beim Abkühlen und das Zerfallen des Karbids beim Erhitzen bedingt ist.

Steigt der Kohlenstoffgehalt über 0,3 v. H., so wird der obere Haltepunkt undeutlicher und verschwindet schliesslich ganz; der mittlere, bei welchem eine Aenderung der magnetischen Eigenschaften sich vollzieht, wird bei etwas niedrigerer Temperatur als im reinen und kohlenstoffarmen Eisen, und zwar bei etwa 725° C., bemerkbar, der untere, auf der Umwandlung der Kohlenstoffform beruhende, liegt ebenfalls, wie im kohlenstoffärmeren Stahl bei ungefähr 675° C., wird aber um so deutlicher, je mehr der Kohlenstoffgehalt zunimmt.

Bei noch höherm Kohlenstoffgehalte (0,5 v. H. und darüber) fallen auch die beiden unteren Haltepunkte zusammen und sind am deutlichsten bei ungefähr 670° erkennbar. Die Temperatur, bei welcher die Umwandlung der Eisenform sich vollzieht, sinkt demnach, wenn der Kohlenstoffgehalt steigt, so dass beide Vorgänge, die Umwandlung der Eisen- und der Kohlenstoffform zusammenfallen. Die Wärmeentwickelung beim Abkühlen und Wärmebindung beim Erwärmen ist so erheblich, dass erstere durch ein im Dunkeln erkennbares Wiedererglühen eines abkühlenden Stahlstabes auch dem Auge sich verräth.[2])

Findet Graphitbildung statt, so zeigt sich bei etwa 1070° C. ein Haltepunkt, welcher vermuthlich diesen Vorgang anzeigt, einen zweiten Haltepunkt fand Osmond bei 1025°, einen dritten bei 900° C.[3])

Wird die Abkühlung eines kohlenstoffhaltigen Eisens (insbesondere Stahls) künstlich beschleunigt, z. B. durch Ablöschen in Wasser, so wird dadurch die Wärmeentwickelung, welche die Haltepunkte kennzeichnet, gehindert; erwärmt man aber den solcherart abgelöschten Stahl, so zeigt sich bereits bei 200° der Beginn einer Wärmeentwickelung, welche am deutlichsten bei 350° sich offenbart und bei etwa 520° ihr Ende erreicht. Der Vorgang geht Hand in Hand mit der durch die chemische Untersuchung nachgewiesenen Umwandlung der Härtungskohle in Karbidkohle bei diesem als Anlassen bezeichneten Erwärmen (Beispiel 9 auf Seite 304).

1) Die umfänglichsten Untersuchungen über diese Haltepunkte sowie über diejenigen des reinen Eisens sind durch F. Osmond ausgeführt und in dessen unter Litteratur genannten Abhandlungen veröffentlicht, wie schon in Fussanmerkung 2 auf Seite 262 erwähnt wurde. Ebenso verdienen Charpys gründliche Untersuchungen über diesen Gegenstand rühmende Erwähnung (vergleiche Litteratur).

2) „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 611 (Brinell); 1887, Seite 447 aus Philosophical Magazine, series 4, vol. 46 (1873), p. 472 (Barrett).

3) Comptes rendus, vol. 106, p. 1156.

Durch die Anwesenheit eines dritten Körpers neben Eisen und Kohlenstoff kann die Lage und Deutlichkeit der Haltepunkte beeinflusst werden. Ein hoher Mangangehalt (im Eisenmangan) kann sie gänzlich zum Verschwinden bringen,[1]) ein minder hoher erniedrigt ihre Lage; auch Wolfram und Nickel erniedrigen die Temperatur, bei welcher die Härtungskohle des hocherhitzten Metalls in Karbidkohle übergeht.[2])

Das Kleingefüge kohlenstoffhaltigen Eisens.

Wenn man die Bruchfläche kohlenstoffhaltigen Eisens schleift, polirt, auch wohl mit schwachen Lösungsmitteln ätzt, wie auf Seite 270 angedeutet wurde,[3]) so gewahrt man bei mässiger (etwa 50- bis 100facher) Vergrösserung, sofern das Eisen weder Graphit noch Temperkohle ent-

Fig. 75.

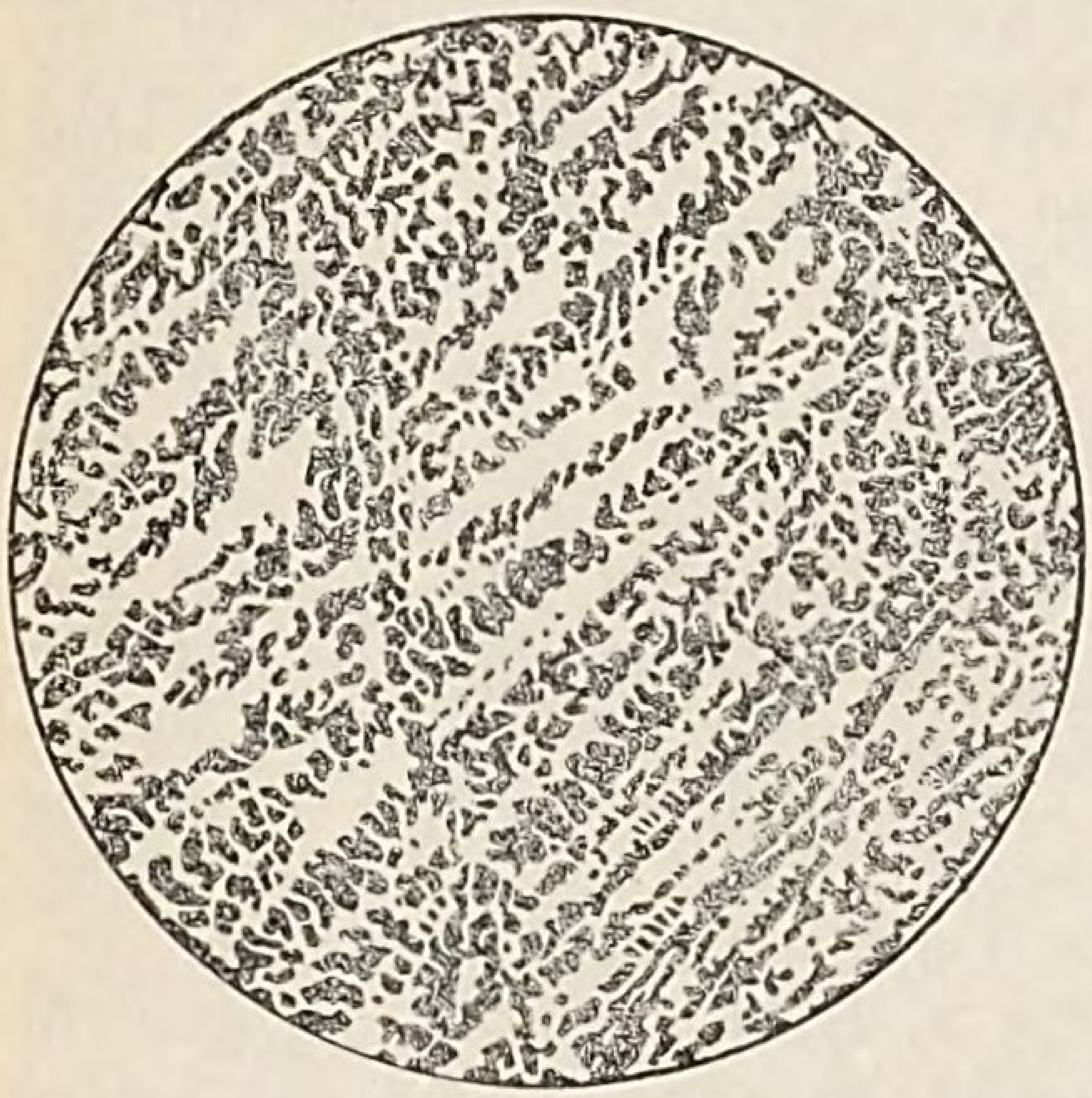
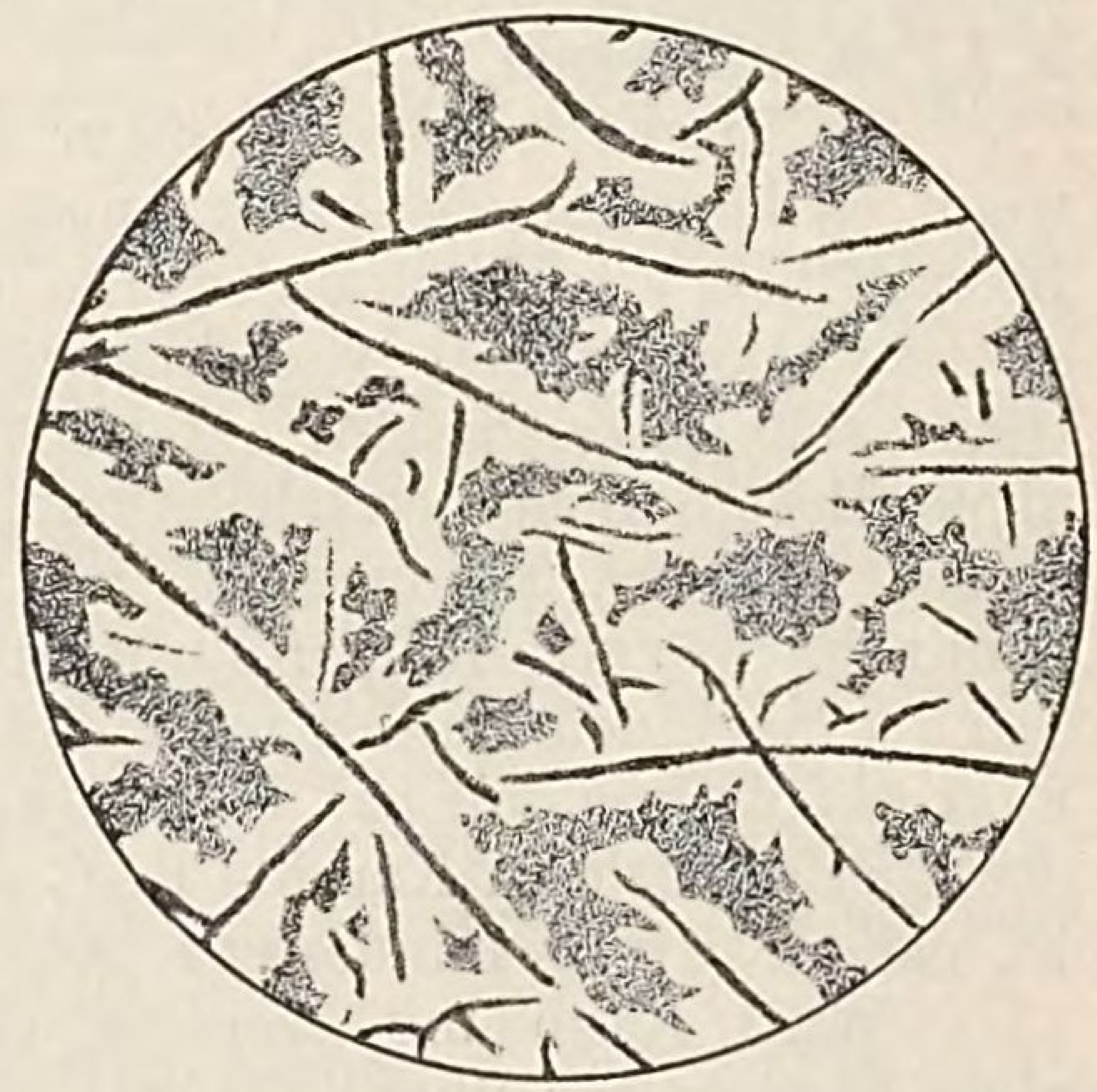


Fig. 76.



hält, zwei Gefügebestandtheile, einen härtern und einen weichern, welche sich netz- oder wurmartig durchsetzen. In Fig. 75 ist die solcherart behandelte Bruchfläche weissen Roheisens in 50facher Vergrösserung abgebildet; die hellen Stellen sind hier der härtere Bestandtheil. Je mehr der Kohlenstoffgehalt des Eisens abnimmt, desto kleiner wird das Verhältniss des harten Bestandtheils zum weichen. Auf der Bruchfläche grauen Roheisens dagegen gewahrt man, wie Fig. 76 erkennen lässt, die einzelnen Graphitblätter, welche in Form schwarzer, unregelmässig vertheilter Linien das Metall durchsetzen; diese sind von kohlenstoffarmem Eisen umgeben (in der Abbildung weiss), und innerhalb dieses weichen

1) Wenn man hieraus folgern könnte, dass der Kohlenstoff der Eisenmangane auch bei langsamer Abkühlung vollständig im Zustande der Härtungskohle verbleibt, so wird doch diese Annahme durch die auf Seite 303 mitgetheilte Zusammensetzung eines Eisenmangans nicht bestätigt.

2) Untersuchungen Osmonds über die Einflüsse dritter Körper: Comptes rendus, t. 104, p. 985; t. 110, p. 242 nnd 346.

3) Es möge hier nochmals betont werden, dass jene Andeutungen bei Weitem nicht ausreichend sind, als Richtschnur für die Ausführung der mikroskopischen Untersuchung zu dienen, sondern dass in dieser Beziehung auf die unter Litteratur genannten Fachschriften und Abhandlungen verwiesen werden muss.

Eisens befinden sich die Anhäufungen eines härtern Bestandtheils (in der Abbildung als schwarze Flecken sich darstellend) eingeschlossen. Im Uebrigen sind auch hier durch das Maass des Graphit- und Karbidkohlenstoffgehalts Unterschiede bedingt.

Bei genauerer Untersuchung unter stärkerer Vergrösserung, und indem man die polirte Bruchfläche mit Körpern behandelte, welche einzelne Bestandtheile färben, andere ungefärbt lassen (Jodlösung, Auszug aus Süssholzwurzel), hat man jedoch gefunden, dass jener harte und weiche Bestandtheil nicht immer die gleiche Beschaffenheit besitzen, sondern gemäss der Höhe des Gesammtkohlenstoffgehalts und der Abkühlungsverhältnisse verschieden zusammengesetzt sein können. Da die Forschungen über diesen Gegenstand noch nicht abgeschlossen sind, möge es genügen, hier die wichtigsten der bisher erlangten Ergebnisse in Kürze mitzutheilen und im Uebrigen auf die unter Litteratur genannten Arbeiten Sorbys, Osmonds, Sauveurs, Howes, Martens', Arnolds u. A. zu verweisen.

Im Eisen, welches weniger als 0,8 v. H. Kohlenstoff enthält, sind, wenn es langsam abgekühlt wurde, ein weicher, krystallinisch-körniger Bestandtheil als Hauptmasse und ein härterer, in der Hauptmasse verstreuter Bestandtheil von blättrigem Gefüge, durch perlmutterartigen Glanz sich auszeichnend, erkennbar. Jenen weichen, krystallinisch-körnigen Bestandtheil betrachtet man als kohlenstofffreies Eisen (in welchem jedoch Mangan, Silicium und andere Körper zugegen sein können) und nennt ihn Ferrit; der perlmutterartige Körper, welchen man Perlit oder Sorbit (nach dem englischen Forscher Sorby, dem Begründer der Metallmikroskopie) genannt hat, wird als eine Verwachsung oder eine Vereinigung des Ferrits mit dem Karbide Fe_3C angesehen. Zur Erkennung des Perlits ist nach Sauveur mindestens 300fache Vergrösserung erforderlich.

Wird Eisen mit weniger als 0,8 v. H. Kohlenstoff dagegen in einer Temperatur über 700 ^{0} C. abgelöscht, so verschwindet der Perlit; der Ferrit ist noch vorhanden und daneben gewahrt man einen härteren Bestandtheil, sehr feinkörnig, auch wohl Gruppen von Nadeln oder Fasern bildend, Martensit (nach Professor Martens) oder Hardenit (wegen seiner Härte) genannt. Er besteht aus einer Lösung von Härtungskohle im Eisen; sein Kohlenstoffgehalt ist von dem Gesammtkohlenstoffgehalte des Metalls abhängig und kann nach Sauveur 0,12 bis 0,90 v. H. betragen.[1]) Mit dem Gesammtkohlenstoffgehalte des Eisens wächst bei langsamer Abkühlung der Gehalt an Perlit, bei rascher Abkühlung der Gehalt an Martensit; beträgt der Kohlenstoffgehalt 0,8 v. H., so besteht nach langsamer Abkühlung die ganze Masse aus Perlit. Man hat hieraus geschlossen, dass der Perlit 0,8 v. H. Kohlenstoff enthalte und aus 12 Theilen Karbid mit 88 Theilen Ferrit zusammengesetzt sei. Wird das nämliche Eisen sehr rasch abgelöscht, so besteht es nur aus Martensit, d. h. es enthält nur Härtungskohle.[2])

1) Die Angabe ist eine Schlussfolgerung aus den Erscheinungen, welche Eisen mit mehr als 0,90 v. H. Gesammtkohlenstoff unter dem Mikroskope bietet.

2) Wie durch chemische Untersuchungen nachgewiesen ist, lässt sich die Entstehung des Karbids zwar dann hintertreiben, wenn sehr dünne Späne des Metalls rasch abgelöscht werden; in dickeren Stücken entsteht fast immer, wie die Beispiele auf Seite 304 nachweisen, eine, wenn auch beschränkte, Menge Karbid.

Beträgt der Kohlenstoffgehalt des Eisens (Stahls) dagegen mehr als 0,8 v. H., so verschwindet der Ferrit; dagegen erscheint das Karbid Fe_3C selbständig ausgebildet als sehr harter, glänzender Bestandtheil ohne krystallinisches Gefüge, und wird in dieser Form Cementit genannt. Seine Menge nimmt mit dem Kohlenstoffgehalte zu; im langsam abgekühlten Metalle gewahrt man Cementit neben Perlit, im abgelöschten Cementit neben Martensit.

Einflüsse des Kohlenstoffgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Wie sich aus den geschilderten Eigenthümlichkeiten der bis jetzt bekannten Kohlenstoffformen folgern lässt, kann der Einfluss, welchen ein bestimmter Gesammtkohlenstoffgehalt auf das Verhalten des Eisens ausübt, verschieden sein. Er hängt ab von den gegenseitigen Gewichtsverhältnissen, in welchen die Kohlenstoffformen anwesend sind. Ein und dasselbe Eisen kann verschiedene Eigenschaften erhalten, je nachdem sein Kohlenstoffgehalt beim Abkühlen vorwiegend die eine oder andere Form annimmt.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch den Kohlenstoffgehalt erniedrigt. Reines Eisen schmilzt nach Osmond, wie schon erwähnt, bei 1500 °, Eisen mit 4,1 v. H. Kohlenstoff, welches sonstige Fremdkörper nur in unerheblicher Menge enthält, nach demselben Forscher bei 1085 ° C.[1]) Je ein Hunderttheil Kohlenstoff erniedrigt demnach die Schmelztemperatur um ungefähr 100 ° C.; ob aber nicht bei Zunahme des Kohlenstoffgehalts die niedrigste Schmelztemperatur schon erreicht wird, bevor der gesammte, dem Sättigungsgrade entsprechende Kohlenstoffgehalt aufgenommen ist, und ob nicht alsdann die Schmelztemperatur von diesem Punkte an mit dem Kohlenstoffgehalte steigt, ist bis jetzt nicht mit Sicherheit nachgewiesen worden.[2])

Die verschiedenen Kohlenstoffformen verhalten sich indess auch in dieser Beziehung nicht ganz übereinstimmend. Das flüssige Eisen enthält, wie früher hervorgehoben wurde, nur Härtungskohle; die Karbidkohle geht bei einer Temperatur, welche weit unterhalb des Schmelzpunktes liegt, in Härtungskohle über. Graphit dagegen kann erst gelöst werden, wenn das Eisen zu erweichen beginnt. Je reicher aber das Eisen an Graphit ist, desto niedriger ist sein Gehalt an jenen erstgenannten Kohlenstoffformen, desto später tritt beim Erhitzen jener Zeitpunkt ein, wo aller Kohlenstoff gelöst ist. Daher besitzt graphitreiches Eisen eine höhere Schmelztemperatur als graphitarmes von demselben Kohlenstoffgehalte; graues Roheisen, welches rasch abgekühlt wurde und infolge davon einen geringern Graphitgehalt besitzt, schmilzt nach Beobachtungen im Betriebe, welche auch durch wissenschaftliche Versuche volle Bestätigung fanden,[3]) leichter als das nämliche Roheisen bei langsamer Abkühlung.

1) Transformations du fer et du carbone dans les fers, les aciers et les fontes blanches, p. 28. Der Gehalt des untersuchten Eisens an sonstigen Fremdkörpern betrug: Si = 0,22, S = 0,04, P = 0,02, Mn = 0,12.

2) Ueber Beobachtungen, welche eine solche Vermuthung nahe legen, vergleiche „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 705.

3) Versuche Wests: The Iron Trade Review, vol 30, p. 30; daraus in „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 214.

Die Härte des Eisens wächst mit zunehmendem Gehalte an Härtungskohlenstoff. Auch das Eisenkarbid ist erheblich härter als reines Eisen; aber es durchzieht, wie oben geschildert wurde, in Adern das Metall, oder ist in diesem in einzelnen Anhäufungen vertheilt, oder — nach Maassgabe der mikroskopischen Untersuchung — mit reinem Eisen zu Perlit verbunden, und sein Einfluss auf die Härte eines ganzen Eisenstücks tritt deshalb nicht so deutlich hervor, wie der Einfluss der in der Hauptmasse enthaltenen Härtungskohle. Graphit und Temperkohle aber sind weiche Körper, eingebettet in dem Metalle, dessen Zusammenhang unterbrechend, und je höher der Gehalt eines Eisens an Graphit und Temperkohle ist, desto niedriger ist bei gegebenem Gesammtkohlenstoffgehalte sein Gehalt an Karbid- und Härtungskohle, desto weicher ist es.

Hieraus erklärt sich, dass weisses Roheisen, welches einen grösseren Gehalt an Härtungs- und an Karbidkohle zu besitzen pflegt als ungehärteter Stahl, diesen an Härte übertrifft, und dass Stahl härter ist als Schmiedeeisen; dass beim Ablöschen (Härten) glühenden Stahls sein Härtegrad erhöht, beim Anlassen wieder verringert wird. Gehärteter kohlenstoffreicher Stahl lässt sich selbst zur Bearbeitung manchen weissen Roheisens verwenden. Nicht deutlich tritt dieser Einfluss des Ablöschens bei ganz kohlenstoffarmem Eisen hervor, weil hier das Verhältniss zwischen Karbid- und Härtungskohle sich auch beim Ablöschen nicht erheblich ändert (Analyse 10 auf Seite 304). Auch beim weissen Roheisen zeigt sich dieser Einfluss nicht so deutlich wie beim Stahle, da diese Eisengattung ohnehin so reich an Härtungskohle zu sein pflegt, dass eine erhebliche Zunahme durch plötzliche Abkühlung nicht mehr erreichbar ist.[1])

Ferner liefern jene Unterschiede in dem Einflusse der Kohlenstoffformen auf den Härtegrad des Eisens die Erklärung dafür, dass graues Roheisen weniger hart ist als weisses und als Stahl, im Allgemeinen um so weniger hart, je höher sein Graphitgehalt ist, sowie, dass rasche Abkühlung des erstarrenden grauen Roheisens (Eingiessen in eiserne Gussformen) seine Härte erhöht, und endlich, dass Ausglühen den Härtegrad aller Eisensorten erniedrigt, indem die Härtungskohle in Karbidkohle, diese bei längerem Glühen in hoher Temperatur in Temperkohle umgewandelt wird. Selbst weisses Roheisen wird feilbar durch ausreichend langes Glühen in Hellrothgluth.

Die Festigkeit des Eisens nimmt zunächst mit seinem Gehalte an Härtungskohle zu, und mit der Festigkeit wächst die Sprödigkeit. Während aber die Zunahme der Sprödigkeit mit der Zunahme des Gehalts an Härtungskohle Schritt hält, erreicht die Festigkeit ziemlich früh ihr höchstes Maass, und bei fernerer Zunahme der Härtungskohle verringert sich die Festigkeit rasch. Auch ein Gehalt an Karbidkohle vermag die Festigkeit des Eisens zu erhöhen. Bei welchem Gehalte an Härtungskohle oder an Karbidkohle allein das höchste Maass der Festigkeit erreicht wird, ist kaum zu ermitteln, auch ist dieses Maass von der verschiedenen Art der Beanspruchung (Zug, Druck u. s. w.) abhängig.

1) Untersuchungen über den Einfluss des Ablöschens auf weisses Roheisen fehlen, da die Frage ohne besondere Bedeutung ist.

Man pflegt anzunehmen, dass diejenigen Eisensorten die grösste Festigkeit aufweisen, welche einen Gesammtkohlenstoffgehalt von etwa 1 v. H., also bei gewöhnlicher Abkühlung einen Gehalt an Karbidkohle von ungefähr 0,75 v. H., an Härtungskohle von 0,25 v. H. besitzen. Solches Eisen aber pflegt nur ein geringes Maass von Zähigkeit zu besitzen. Es ist spröde; das reinste Eisen ist das zäheste (Seite 262). Stahl ist fester, aber auch spröder als Schmiedeeisen.

Weisses Roheisen, dessen Kohlenstoffgehalt jenes Maass bereits weit zu überschreiten pflegt, ist nicht nur erheblich spröder, sondern auch weniger fest als schmiedbares Eisen.

Graphit verringert als eingelagerter, wenig fester Körper auch die Festigkeit des Eisens, in welchem er auftritt; um so erheblicher, je grossblättriger er ist. Weniger deutlich wirkt die in feinerer Vertheilung auftretende Temperkohle. Da aber ein Uebermaass von Härtungs- und Karbidkohle ebenfalls benachtheiligend auf die Festigkeitseigenschaften einwirkt, kann eine mässige Graphitbildung in kohlenstoffreichem Eisen dessen Festigkeit und Zähigkeit erhöhen. Graues Roheisen ist daher weniger spröde und meistens fester als weisses; dagegen spröder und weniger fest als schmiedbares Eisen, dessen Zusammenhang nicht durch die Graphitblätter unterbrochen ist. Rasche Abkühlung geschmolzenen grauen Roheisens kann, wenn dieses stark zur Graphitbildung neigt, dessen Festigkeit erhöhen; wird aber die Graphitbildung allzu sehr dadurch eingeschränkt, so kann der entgegengesetzte Erfolg eintreten, und in beiden Fällen wird das Metall spröder.

Ablöschen glühenden schmiedbaren Eisens steigert dessen Festigkeit und Sprödigkeit; je höher der Kohlenstoffgehalt ist, desto deutlicher zeigt sich dieser Einfluss. Da aber auch bei kohlenstofffreiem Eisen ein gleicher Erfolg des Ablöschens wahrnehmbar ist (Seite 263), lässt sich nicht genau bestimmen, welcher Antheil der durch das Ablöschen bewirkten Umwandlung der Eisenform (Seite 265) und welcher der Umwandlung der Kohlenstoffform zuzuschreiben sei.[1])

Ausglühen rasch abgekühlten kohlenstoffhaltigen Eisens erhöht dessen Zähigkeit (verringert die Sprödigkeit); beim Roheisen, zumal dem weissen Roheisen, kann auch die Festigkeit dadurch erhöht werden, indem das Uebermaass des Gehalts an Härtungskohle dadurch verringert wird.

5. Eisen und Silicium.

Reduction des Siliciums.

Obgleich Kieselsäure (SiO_2) auch in Weissgluth ohne Weiteres nicht durch Kohlenstoff zu Silicium reducirt wird, gelingt doch die Reduction ziemlich leicht, wenn ausser Kohle auch metallisches Eisen zugegen ist, mit welchem das reducirte Silicium im Entstehungszustande

1) Einige Forscher, an ihrer Spitze Osmond, gehen so weit, die Umwandlung der Eisenform als die eigentliche Ursache der Veränderung der Härte und Festigkeit kohlenstoffhaltigen Eisens beim Ablöschen zu betrachten und der Umwandlung der Kohlenstoffform nur eine nebensächliche Rolle zuzuschreiben. Die Theorie ist wenig wahrscheinlich. Näheres über das Für und Wider in den unter Litteratur genannten Schriften über Kohlenstoffformen und Stahlhärtung.

sich vereinigen kann. Ob hier die freie Kohle unmittelbar als Reductionsmittel dient, oder ob die vom Eisen aufgenommene Kohle — welche bei der Berührung des Eisens mit freier Kohle stets Ergänzung findet — die Reduction bewirkt, ist bislang nicht nachgewiesen worden. Thatsache ist es, dass sogar beim Schmelzen kohlenstoffhaltigen Eisens in Gefässen, deren Wände Kieselsäure enthalten, wie zuerst Troost und Hautefeuille nachwiesen, durch einen Theil des Kohlenstoffgehalts im Eisen Silicium aus den Wänden reducirt und in das Eisen geführt wird.[1])

Auch Mangan vermag als Reductionsmittel für Kieselsäure zu dienen, wobei Manganoxydul gebildet und von einem andern Theile der Kieselsäure verschlackt wird:

$$2\,Mn + SiO_2 = 2\,MnO + Si.$$

Daher verringert sich der Mangangehalt und erhöht sich der Siliciumgehalt, wenn flüssiges manganhaltiges Eisen längere Zeit in Berührung mit Kieselsäure oder kieselsäurehaltigen Körpern (den Wänden eines Tiegels, des Schmelzofens) sich befindet.[2])

Diese Thatsachen deuten auf eine starke Neigung des Eisens hin, Silicium aufzunehmen. Durch Schmelzen von Eisen mit Kohle und Quarzpulver lassen sich solche Legirungen mit mehr als 16 v. H. Silicium darstellen; ebenso wird beim Schmelzen von Eisenoxyden mit Kohle und Quarzpulver Silicium neben Eisen reducirt und von diesem aufgenommen, sofern die ausreichende Menge Kohle zugegen ist.

Auch aus kieselsäurehaltigen Schlacken kann bei reducirendem Schmelzen mit Kohle und Eisen oder Eisenoxyden Silicium an das Eisen abgegeben werden, und zwar um so leichter, je weniger basisch die Schlacken sind, je weniger stark demnach ihre chemische Verwandtschaft zur Kieselsäure ist. Hohe Temperatur befördert die Siliciumreduction. Aus diesem Grunde kann selbst aus stark basischen Schlacken durch gleichzeitige Einwirkung von Kohle und Eisen eine nicht unbeträchtliche Menge Silicium reducirt werden, sofern die Temperatur hoch genug ist; das Vereinigungsbestreben des Eisens zum Silicium und der als Reductionsmittel dienenden Kohle zum Sauerstoff wird augenscheinlich durch Erhöhung der Temperatur mehr gesteigert als das der Basen zu der Kieselsäure, und die Menge des reducirten Siliciums steigt mit der Temperatur.

In allen diesen Fällen enthält das erfolgende Eisen neben dem Silicium auch Kohlenstoff, dessen Menge jedoch, wie auf Seite 292 erwähnt wurde, im umgekehrten Verhältnisse zu der Menge des anwesenden Siliciums steht. Durch besondere Verfahren kann man jedoch für Versuchszwecke auch Siliciumeisenlegirungen mit sehr bedeutendem Siliciumgehalte ohne Kohlenstoff darstellen. Hahn erhielt durch Schmelzen von Eisenchlorür-Chlornatrium mit Kieselfluornatrium und Natrium ein Siliciumeisen mit 30,8 v. H. Silicium; Mrázek erzeugte durch Schmelzen von 100 Theilen weichem Eisendraht, 242 Theilen Quarz, 105 Theilen

1) Comptes rendus, t. 76, p. 483.

2) Beispiele: Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen aus dem Jahr 1880, Seite 7; „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 604; 1885, Seite 371; 1886, Seite 698; Comptes rendus, t. 76 (1875), p. 483.

Flussspath, 62 Theilen Natrium eine Legirung mit 7,4 v. H. Silicium und nur jenen kleinen Mengen Kohlenstoff, welche durch den Draht zugeführt worden waren.[1])

Einflüsse des Siliciumgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Die Farbe der Siliciumeisenlegirungen ist weiss. Tritt neben dem Silicium Kohlenstoff auf, welcher beim Erstarren graphitisch ausgeschieden wird, so vermag dieser allerdings die Farbe der eigentlichen Bruchfläche mehr oder minder vollständig zu verdecken.

Siliciumeisen krystallisirt im regelmässigen Krystallsysteme. Die Bruchfläche der oben erwähnten, von Mrázek dargestellten kohlenstofffreien Legirung mit 7,4 v. H. Silicium deutete unzweifelhaft auf diese Krystallform; kleine oktaëdrische Tannenbaumkrystalle (Seite 261) lassen sich auch im Siliciumeisen mit 16 v. H. Silicium beobachten.

Wie schon mehrfach erwähnt wurde, verringert ein Siliciumgehalt des Eisens dessen Sättigungsvermögen für Kohlenstoff und zwingt den aufgenommenen Kohlenstoff, beim Erstarren als Graphit aus seiner Lösung auszutreten, sofern der Gehalt an Silicium und Kohlenstoff zusammen ein gewisses Maass überschreitet. Silicium als der stärkere Körper verdrängt gewissermaassen den Kohlenstoff aus seiner Lösung.[2])

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen Siliciumgehalt merklich, aber nicht erheblich erniedrigt. Mrázek beobachtete, dass die Schmelztemperatur des von ihm dargestellten kohlenstofffreien Siliciumeisens mit 7,4 v. H. Silicium höher lag als die eines graphithaltigen Roheisens mit 5 v. H. Kohlenstoff, aber niedriger als diejenige eines Stahls mit etwa 0,75 v. H. Kohlenstoff; Osmond ermittelte durch genaue Messungen die Schmelztemperatur eines Siliciumeisens mit 10 v. H. Silicium neben 2,38 v. H. Kohlenstoff und fand 1130° C.; dagegen war eine Legirung mit 4,2 v. H. Silicium neben 0,25 v. H. Kohlenstoff bei 1400° C. noch ungeschmolzen.[3])

Die Härte des Eisens wird durch einen Siliciumgehalt gesteigert, aber auch dieser Einfluss ist im Vergleiche zu dem des Kohlenstoffgehalts unbedeutend. Siliciumeisen mit 16 v. H. Silicium lässt sich mit hartem Stahlbohrer ohne Schwierigkeit bohren; Mrázek bestimmte die Härte des mehrfach erwähnten Siliciumeisens mit 7,4 v. H. Silicium zu 5,5 der mineralogischen Härteskala (zwischen Apatit und Feldspath), diejenige eines Siliciumeisens mit 1,4 v. H. Silicium und 0,17 v. H. Kohle zu 4,5 bis 5 (Härtegrad 4 = Flussspath, 5 = Apatit; reines Eisen besitzt ungefähr den Härtegrad 4,5). Auf die Härtbarkeit des schmied-

1) Die Anwesenheit von Flussspath neben Kieselsäure und Eisen befördert, auch wenn Kohle statt des Natriums als Reductionsmittel benutzt wird, die Reduction des Siliciums. Vermuthlich entsteht Kieselfluorcalcium, welches seinen Siliciumgehalt an das Eisen abgiebt.

2) Dagegen müssen frühere Beobachtungen, nach welchen auch Silicium in selbständiger Form, dem Graphit ähnlich, aus dem Eisen auszukrystallisiren vermöge, als irrthümlich bezeichnet werden. Selbst sehr reiche Siliciumeisenlegirungen enthalten alles Silicium in gelöster Form; Jordan und Turner versuchten durch Anwendung verschiedener Mittel, Silicium in freier Form aus dem Eisen auszuscheiden, jedoch ohne Erfolg (Iron, vol. 22, p. 406; auch „Stahl und Eisen" 1888, Seite 580).

3) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 637.

baren Eisens ist ein Siliciumgehalt ohne Einfluss; dass die Neigung des Roheisens, bei plötzlicher Erstarrung weiss und hart zu werden, durch einen Siliciumgehalt verringert werde, folgt aus dessen Einfluss auf die Graphitbildung.

Die Festigkeit des Eisens wird durch einen mässigen Siliciumgehalt erhöht; wo die Grenze des Siliciumgehalts liegt, bei deren Ueberschreiten die Festigkeit nicht mehr zu-, sondern abnimmt, ist noch unermittelt. Auch dieser Einfluss ist schwächer als der eines gleichen Kohlenstoffgehalts; annähernd lässt sich annehmen, dass unterhalb jener Grenze, wo die höchste Festigkeit erreicht ist, Kohlenstoff die doppelte Festigkeitssteigerung bewirkt als Silicium, doch ist hierbei auch die Anwesenheit dritter Körper von Einfluss.[1]) Sind Silicium und Kohlenstoff neben einander in solchen Gewichtsverhältnissen zugegen, dass das Eisen graphithaltig wird, so kann eine Steigerung des Siliciumgehalts, indem sie die Graphitbildung vermehrt, die Festigkeit schmälern.

Die Zähigkeit des Eisens wird durch Aufnahme von Silicium verringert, die Sprödigkeit gesteigert. Auch die Schmiedbarkeit erleidet Einbusse; jedoch zeigt sich der Einfluss des Siliciumgehalts auch hinsichtlich dieser drei Eigenschaften weit minder kräftig als der des Kohlenstoffgehalts. Mrázeks mehrfach erwähntes Siliciumeisen mit 7,4 v. H. Silicium war in der Kälte brüchig, vollständig spröde; in Rothgluth liess es sich mit Vorsicht, in Weissgluth leichter schmieden.

Abscheidung des Siliciums aus dem Eisen.

Aus geschmolzenem, siliciumhaltigem Eisen kann das Silicium durch Verbrennung, zum geringen Theile auch in Verbindung mit anderen Körpern durch Verflüchtigung abgeschieden werden. Als Oxydationsmittel können freier Sauerstoff, Kohlensäure, Wasserdampf, Eisenoxyde (insbesondere Fe_2O_3) dienen. Je weniger stark überhitzt das Metall und je stärker basisch die entstehende Schlacke hierbei ist, desto leichter und vollständiger vollzieht sich die Verbrennung des Siliciums. Daher lässt sich aus Roheisen das Silicium annähernd vollständig vor dem Kohlenstoff abscheiden, wenn ersteres nicht weit über die Schmelztemperatur hinaus erhitzt ist und stark basische Schlacken zugegen sind. Mit der Temperatur aber wächst das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs rascher als dasjenige des Siliciums; daher verbrennt in höherer Temperatur das Silicium erst neben dem Kohlenstoff, und wenn die entstehende Schlacke reich an Kieselsäure ist, kann es geschehen, dass in hoher Temperatur noch Silicium im Eisen zurückbleibt, nachdem der Kohlenstoff schon bis auf Spuren verbrannt ist (Bessemerverfahren).

Das Entweichen flüchtiger Siliciumverbindungen aus siliciumhaltigem Eisen lässt sich im Betriebe nicht selten beobachten. Fliessendes Roheisen ist oft von einem dicken weissen Rauche bedeckt, welcher zum grossen Theile aus Kieselsäure entsteht; in Drusenräumen erstarrten siliciumhaltigen Roheisens findet man mitunter einen weissen Ueberzug, aus reiner Kieselsäure bestehend und jedenfalls durch Verbrennung einer in die Druse eintretenden gasförmigen Siliciumverbindung entstanden;

1) Einiges Nähere hierüber in der dritten Abtheilung unter „Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens“.

moosartige Bildungen von Kieselsäure wurden in Vertiefungen an der Aussenseite von Roheisenmasseln gefunden.[1]) Höchstwahrscheinlich ist es Schwefelsilicium (Siliciumsulfid), welches zu diesen Erscheinungen Veranlassung giebt, indem es flüchtig aus dem Roheisen entweicht und bei Berührung mit der Luft oder der Feuchtigkeit des Formsandes (bei den Roheisenmasseln) verbrennt. Es bildet sich nach Frémys und Colsons Untersuchungen,[2]) deren Ergebnisse später durch einige von mir angestellte Versuche[3]) bestätigt wurden, wenn Schwefel, Kohlenstoff und Kieselsäure in Weissgluth auf einander wirken; oder auch durch Einwirkung von Schwefelkohlenstoff auf Silicium. In hoher Temperatur (Weissgluth) ist es flüchtig und wird, sobald es einmal Gasform angenommen hat, von dem Gasstrome auf weite Entfernungen angenommen. An feuchter Luft oxydirt es sich rasch unter Schwefelwasserstoffentwickelung zu Kieselsäure.

Möglicherweise spielt auch Stickstoffsilicium, welches nach Wöhler und Deville bei Einwirkung beider Körper auf einander in hoher Temperatur entsteht, durch Glühen im Wasserdampfe aber zerlegt wird,[4]) mitunter eine Rolle.

Siliciumwasserstoff soll nach Morton beim Hinüberleiten von trockenem Wasserstoffgase über siliciumhaltiges glühendes Eisen gebildet werden.[5]) Nähere Untersuchungen hierüber fehlen.

6. Eisen und Phosphor.

Reduction des Phosphors. Phosphorgehalt im Eisen.

Phosphor findet sich in den Erzen, Zuschlägen und in der Asche der Brennstoffe, mit Calcium (Apatit, Phosphorit), Eisen (Vivianit) oder anderen Metallen und Sauerstoff zu Phosphaten vereinigt. Die Reduction des Phosphors aus diesen Verbindungen geht in hoher Temperatur unter Einwirkung von Kohle ziemlich leicht von Statten, wenn Eisen zugegen ist, zu dem der Phosphor ein starkes Vereinigungsbestreben besitzt. Selbst die Gegenwart starker Basen vermag nicht bei Gegenwart von Eisen die Reduction des Phosphors durch Kohle zu hindern; bei Berührung von geschmolzenem stickstoffhaltigem Eisen mit Phosphaten genügt dessen Kohlenstoffgehalt, Phosphor zu reduciren und dem Eisen zuzuführen. Auch Mangan und Silicium können reducirend auf Phosphate einwirken; selbst Eisen vermag nach Versuchen von Finkener[6]) und Hilgenstock[7]) unter günstigen Verhältnissen Phosphor zu reduciren, falls ein entsprechender Ueberschuss des Eisens zur Aufnahme des Phosphors zugegen ist.

1) Beispiele: Berg- u. hüttenm. Ztg. 1877, Seite 279; Zeitschrift des berg- u. hüttenm. Vereins für Kärnten und Steiermark 1876, Seite 77; „Stahl und Eisen" 1884, Seite 638.

2) Comptes rendus, t. 35, p. 27; t. 94, p. 1526.

3) Berg- und hüttenm. Zeitung 1878, Seite 324.

4) Liebigs Jahresberichte 1859, Seite 154.

5) Journal of the Iron and Steel Institute 1874 I, p. 102.

6) Mittheilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1883, Seite 33.

7) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 528.

Dieses Verhalten des Phosphors erklärt es, dass beim reducirenden Schmelzen von Eisenerzen mit Kohle ein grosser Theil des in den Erzen, den Zuschlägen und der Asche enthaltenen Phosphors reducirt und vom Eisen aufgenommen wird. Annähernd vollständige Reduction des anwesenden Phosphors findet statt, wenn die Temperatur hoch und die thätigen reducirenden Einflüsse so kräftig sind, dass auch alles anwesende Eisen bis auf kleine, in den Schlacken zurückbleibende Mengen reducirt wird (Hochofenschmelzen). In diesem Falle pflegt die entstehende Schlacke, selbst wenn sie sehr basisch ist, nur unbedeutende Mengen von Phosphaten zurückzuhalten. Je niedriger aber die Temperatur, je eisenreicher die entstehende Schlacke ist, ein desto grösserer Antheil des Phosphorsäuregehalts der Erze bleibt in der Schlacke zurück. Man kann also selbst aus phosphorreichen Erzen unter Benutzung dieses Verhaltens des Phosphors unmittelbar ein verhältnissmässig phosphorarmes Eisen darstellen, indem man die Erze nicht im Hochofen auf Roheisen, sondern in kleineren, in der dritten Abtheilung beschriebenen Schmelzöfen unter Bildung einer eisenreichen Schlacke auf schmiedbares Eisen verarbeitet, auf welchem Verfahren die gesammte Eisendarstellung des Alterthums beruhte.

Phosphor und Eisen legiren sich in allen Gewichtsverhältnissen, doch wird im Handelseisen selten mehr Phosphor als 3,0 v. H. gefunden. Beim Zerlegen phosphorhaltigen Eisens mit Lösungsmitteln hinterbleiben mitunter Phosphide bestimmter Zusammensetzung (Fe_3P, Mn_3P_2), wodurch die Vermuthung nahe gelegt wird, dass bei der Erkaltung des Eisens eine Absonderung, ähnlich der Karbidbildung, stattgefunden habe. Ein anderer Theil des Phosphorgehalts pflegt dagegen beim Lösen des Eisens in verdünnten Säuren als Phosphorwasserstoff zu entweichen und demnach sich wie die Härtungskohle zu verhalten.[1])

Einflüsse des Phosphorgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen Phosphorgehalt erniedrigt. Genaue Messungen der Schmelztemperaturen von Eisensorten mit verschiedenem Phosphorgehalte sind bis jetzt nicht angestellt worden; wie es scheint, ist das Maass jenes Einflusses mitunter überschätzt und mit der Erhöhung der Dünnflüssigkeit verwechselt worden, welche ein Phosphorgehalt dem geschmolzenen Eisen verleiht. Freese[2]) fand, dass kohlenstofffreie Eisenphosphide schwer schmelzbar sind, und Hilgenstock[3]) beobachtete, dass Eisen mit 15 v. H. Phosphor schwieriger zum Schmelzen zu bringen war als solches mit 9 v. H. Silicium.

Die Härte des Eisens wird durch Phosphor gesteigert; das Maass dieses Einflusses aber ist erheblich unbedeutender als dasjenige, welches die gleiche Menge Kohlenstoff ausübt. Die Härtbarkeit des Eisens bleibt durch einen Phosphorgehalt unbeeinflusst.

1) Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1886, Seite 736 (Schneider); „Stahl und Eisen" 1897, Seite 524 (von Jüptner).
2) Poggendorffs Annalen, Band 132 (1867), Seite 225.
3) „Stahl und Eisen" 1884, Seite 6.

Wichtiger sind die Aenderungen, welche die Festigkeitseigenschaften des Eisens durch einen Phosphorgehalt erleiden. Durch einen geringen Phosphorgehalt wird die Festigkeit des Eisens bei ruhiger Belastung etwas, doch nicht erheblich gesteigert; durch einen höheren Phosphorgehalt wird sie geschwächt. Rasch nimmt aber mit dem Phosphorgehalte die Sprödigkeit des Eisens zu; Erschütterungen, oft unerheblicher Natur, können eine Zertrümmerung von Gebrauchsgegenständen aus phosphorhaltigem Eisen hervorrufen. Je niedriger die Temperatur ist, desto empfindlicher macht sich dieser Einfluss des Phosphorgehalts bemerkbar.

Man bezeichnet allgemein die dem Eisen durch den Gehalt an gewissen Fremdkörpern ertheilte Neigung, unter dem Einflusse von Schlägen oder Erschütterungen in gewöhnlicher Temperatur zu zerspringen, als Kaltbruch; phosphorhaltiges Eisen ist demnach kaltbrüchig.

Zum Theil beruht das geschilderte üble Verhalten phosphorhaltigen Eisens unmittelbar auf der Veränderung, welche das Gefüge des Eisens durch Anwesenheit von Phosphor erfährt; das Eisen erhält durch den Phosphorgehalt ein grobkrystallinisches Gefüge. Je grössere Spaltungsflächen aber ein Körper besitzt, desto brüchiger pflegt er zu sein.

Der durch Phosphor hervorgerufene Kaltbruch wächst mit dem Gehalte des Eisens an Härtungskohle. Da aber in schmiedbarem Eisen der Gehalt an Härtungskohle bei gleichen Abkühlungsverhältnissen mit dem Gesammtkohlenstoffgehalte zu- und abnimmt, muss der Phosphorgehalt dieses Eisens um so geringer sein, je höher sein Kohlenstoffgehalt ist. Während in einem kohlenstoffreichen Stahle schon ein Gehalt von 0,01 v. H. Phosphor einen merklichen Einfluss auszuüben vermag, darf ein kohlenstoffarmes Eisen mitunter bis zu 0,2 v. H. Phosphor enthalten, ohne für gewöhnlichere Verwendungen unbrauchbar zu werden, wenn auch der benachtheiligende Einfluss eines solchen Phosphorgehalts unverkennbar ist.

Graues Roheisen enthält um so weniger Härtungskohle, je höher sein Siliciumgehalt ist; andererseits stellt man an die Festigkeitseigenschaften des Roheisens (Gusseisens) überhaupt nicht die Ansprüche als an die des schmiedbaren Eisens. Der zulässige Phosphorgehalt im Gusseisen ist daher, zumal wenn dieses siliciumreich genug ist, höher als im schmiedbaren Eisen, und in gewöhnlichen Gusswaaren aus grauem Roheisen findet man nicht selten mehr als 1 v. H. Phosphor.

Die einfachste Erklärung für diese Steigerung des Einflusses eines Phosphorgehalts durch anwesende Härtungskohle liegt in dem Umstande, dass beide Körper das Verhalten des Eisens in derselben Weise beeinflussen; ein Gehalt an Härtungskohle macht das Eisen spröder (Seite 311). Wenn aber zwei Körper den gleichen Einfluss ausüben, ist dessen Maass gewöhnlich grösser als die Summe aus dem Maasse der einzelnen Einflüsse (Seite 269). Wahrscheinlich ist es ausserdem, dass der Einfluss des Phosphors verschieden ist, je nachdem er als Phosphid beim Erkalten ausgeschieden und in der Hauptmasse vertheilt oder — wie die Härtungskohle — gleichmässig gelöst ist, und dass er in letzterer Form kräftiger wirkt als in ersterer. Die Bedingungen für das Zurückbleiben

gelösten Phosphors sind aber vermuthlich ähnliche, wie für das Zurückbleiben an Härtungskohle.[1])

Abscheidung des Phosphors aus dem Eisen.

Die Abscheidung des Phosphors ist durch Verbrennung möglich. Sie macht die Erfüllung ähnlicher Bedingungen nothwendig, wie die Abscheidung des Siliciums; aber das Vereinigungsbestreben des Phosphors zum Eisen ist noch stärker als das des Siliciums, das Vereinigungsbestreben zwischen Phosphorsäure und Basen in hoher Temperatur weniger stark als zwischen Kieselsäure und Basen. Daher gelingt die Phosphorabscheidung weniger leicht als die Abscheidung des Siliciums. Unentbehrlich ist in jedem Falle die Anwesenheit stark basischer Schlacken zur Aufnahme der entstehenden Phosphorsäure. Vor dem Kohlenstoff kann aus geschmolzenem Roheisen ein grosser Theil des Phosphors neben allem Silicium bei Gegenwart basischer Schlacken durch Einwirkung oxydirender Körper (zu denen insbesondere Eisenoxyde gehören) entfernt werden, wenn die Temperatur die Schmelztemperatur des Roheisens nicht erheblich übersteigt; in höherer Temperatur gelingt die Phosphorabscheidung erst, wenn der grösste Theil des Kohlenstoffs, welcher hier reducirend auf Phosphate einzuwirken vermag, entfernt ist.

7. Eisen und Schwefel.

Aufnahme des Schwefels im Eisen.

Die starke Verwandtschaft des Eisens zum Schwefel lässt sich erkennen, wenn man rothglühendes Eisen mit Schwefel berührt. Es erfolgt sofortige Vereinigung und bei genügender Menge des Schwefels Schmelzung. In dieser Weise lassen sich beide Körper in allen beliebigen Gewichtsverhältnissen mit einander vereinigen.

Das häufige Auftreten des Schwefels in den Eisenerzen wurde bereits mehrfach, insbesondere auch bei der Besprechung des Röstens, erwähnt. Es ergiebt sich aus dem dort Gesagten, dass ein grosser Theil des Schwefelgehalts der Erze durch zweckmässig geleitete Röstung, unter Umständen ergänzt durch ein späteres Auslaugen, entfernt werden kann.

Noch reicher an Schwefelverbindungen als die Eisenerze pflegen aber die zu ihrer Verhüttung vornehmlich angewendeten mineralischen Brennstoffe, insbesondere die Steinkohlen und die aus ihnen dargestellten Koks, zu sein. Durch Waschen der Steinkohlen lässt sich ihr Schwefelgehalt abmindern; ein anderer Theil geht bei der Verkokung davon. Ein gewisser Rest aber, der mitunter mehr als 2 v. H. des Gewichts der Koks beträgt, bleibt, wie bei Besprechung dieser Brennstoffe erläutert wurde, in allen Fällen zurück. Bei der erwähnten starken Verwandtschaft des Eisens zum Schwefel würde, sofern nicht besondere Gegenmaassregeln getroffen werden, der grösste Theil jenes Schwefelgehalts von dem unter Anwendung von Koks als Reductions- und

1) Untersuchungen von Jüptner hierüber in dessen in Fussanmerkung 1 auf Seite 316 angezogener Abhandlung.

Schmelzmaterial dargestellten Eisen aufgenommen werden und dessen Eigenschaften in einer Weise beeinflussen, dass es in vielen Fällen nicht mehr benutzbar sein würde.

Als Gegenmaassregel dient die Bildung stark basischer, kalkreicher Schlacken. Aus der Kalkerde und den vorhandenen Schwefelverbindungen (grösstentheils Schwefeleisen) entsteht unter Mitwirkung des anwesenden, als Brennstoff und Reductionsmittel dienenden Kohlenstoffs Schwefelcalcium, welches von der Schlacke aufgenommen wird. Man kann sich den Vorgang nach der Formel

$$FeS + CaO + C = Fe + CaS + CO$$

verlaufend vorstellen. Je kalkreicher die Schlacke ist, desto leichter nimmt sie den Schwefel auf. Nach Versuchen im Kleinen von R. Åkerman[1]) lieferte ein und dasselbe Erz, welches der Reihe nach mit 15 v. H. Quarzzuschlag, mit 5 v. H. Kalksteinzuschlag und mit 20 v. H. Kalksteinzuschlag geschmolzen wurde, Eisen mit 0,09, 0,04 und 0,01 v. H. Schwefel.

Hohe Temperatur beim Schmelzen befördert die Aufnahme des Schwefels durch die basische Schlacke, also die Entstehung schwefelarmen Eisens. Da die Schmelztemperatur kalkreicher Schlacken mit ihrem Kalkerdegehalte steigt, muss jener Umstand als besonders günstig für die Entschweflung betrachtet werden.

Geringere Neigung zur Schwefelaufnahme als kalkreiche Schlacken besitzen solche, in denen die Kalkerde ganz oder zum grösseren Theile durch eine chemisch gleichwerthige Menge Magnesia ersetzt ist.[2]) Magnesium besitzt nur geringe Verwandtschaft zum Schwefel. Dagegen wird durch einen Mangangehalt basischer Schlacken ihre Neigung zur Schwefelaufnahme befördert.

Jenes Verhalten des Schwefels zu Kalkerde und Manganoxydul bei Gegenwart von Kohle erklärt es, dass bei der Verhüttung der Eisenerze der Kalkerde- und Manganoxydulgehalt der Schlacke von fast grösserem Einflusse auf den Schwefelgehalt des erfolgenden Roheisens ist, als der Schwefelgehalt der Erze und Brennstoffe selbst. Die Erfahrung lehrt, dass man bei Anwendung von Koks, sofern die Schlacke ausreichend basisch (Subsilikat), insbesondere reich an Kalkerde, und die Schlackenmenge ausreichend gross ist, schwefelärmeres Eisen darzustellen vermag, als bei Anwendung von Holzkohlen mit kieselsäurereicher Schlacke. Roheisensorten, welche bei stark kalkerdereicher Schlacke in hoher Temperatur erblasen wurden, pflegen auch bei dem Betriebe mit Koks nur sehr geringe Mengen (0,01 bis 0,03 v. H.) Schwefel zu enthalten.

Während demnach kalkreiche Schlacken bei Gegenwart von Kohle den Uebergang des Schwefels an das Eisen verhindern, kann kohlen-

1) Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnthen 1876, Seite 160.

2) Dagegen beobachtete Firmstone, dass Singulosilikatschlacken, in welchen das Gewichtsverhältniss der Magnesia zur Kalkerde ungefähr wie 1 : 2 war, beim Hochofenbetriebe mehr Schwefel aufnahmen, als solche, welche nur Kalkerde enthielten („Stahl und Eisen“ 1894, Seite 967). Vermuthlich war hier der Einfluss des Magnesiagehalts der Schlacke auf die Schmelztemperatur die Ursache.

stoffarmes Eisen sogar reducirend auf schwefelsaures Calcium (Gyps, Anhydrit) einwirken und dabei Schwefel aufnehmen ($CaSO_4 + 4Fe = FeS + CaO + 3FeO$), wenn es in Weissgluth damit in Berührung tritt.[1])

Auch aus schwefelhaltigen Gasen kann Eisen in höherer Temperatur Schwefel aufnehmen. Finkener erhitzte Eisen in einem Strome schwefliger Säure, wobei sich ein Oxyd des Eisens und Schwefeleisen gebildet hatte;[2]) ebenso fand K. Hilgenstock, dass metallisches Eisen reichlich Schwefel aufnahm, wenn er es einem Strome von schwefliger Säure, Schwefelwasserstoff oder Schwefelkohlenstoff in Glühhitze aussetzte.[3]) Odelstjerna beobachtete, dass kohlenstoffarmes Eisen seinen Schwefelgehalt um 0,03 v. H. anreicherte, wenn es durch Gase geschmolzen wurde, die aus schwefelhaltigen Brennstoffen erzeugt worden waren,[4]) und die gleiche Wahrnehmung lässt sich im Betriebe (beim Martinschmelzen) nicht selten anstellen.

Wo sich Schwefel im Eisen findet, pflegt man anzunehmen, dass er in chemischer Verbindung mit Eisen als Einfachschwefeleisen FeS gelöst sei.

Einflüsse des Schwefelgehalts auf die Einflüsse des Eisens.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch Aufnahme eines grösseren Schwefelgehalts erniedrigt; geschmolzenes schwefelreiches Roheisen zeigt jedoch eine dickflüssige Beschaffenheit und besitzt die Eigenschaft, mit Löchern und Blasen im Innern zu erstarren, die eine Folge von Gasbildung sind. Aus dem Eisen selbst entweicht vermuthlich Schwefelkohlenstoff, bei der Berührung des Eisens mit feuchten Körpern (Formsand) wird Schwefelwasserstoff entwickelt.

Die Festigkeit des Eisens in der Kälte wird durch einen Schwefelgehalt, welcher nicht erheblich über 0,1 v. H. hinausgeht, nicht merklich beeinträchtigt. Da ein viel höherer Schwefelgehalt nur selten vorkommt, liegen vergleichende Untersuchungen nur vereinzelt vor; dass ein reichlicher Schwefelgehalt für die Festigkeit und mehr noch für die Zähigkeit des Eisens von Nachtheil sei, ist nicht zu bezweifeln.

Erhitzt man aber schmiedbares Eisen, welches eine gewisse Menge Schwefel enthält, zur Rothgluth, so verliert es in dieser Temperatur seinen Zusammenhang, bekommt bei der Bearbeitung (Schmieden, Walzen) Risse oder fällt gar in Brocken auseinander. Das Eisen ist rothbrüchig. Dieser Einfluss des Schwefels ist der nämliche wie der des vom schmiedbaren Eisen aufgenommenen Sauerstoffs (Seite 273); aber gleiche Mengen Schwefel rufen eine stärkere Wirkung hervor als Sauerstoff.

Die Menge des Schwefels, welche Rothbruch des schmiedbaren Eisens hervorruft oder welche ihn zu einem solchen Grade steigert,

1) Versuche Finkeners: Mittheilungen der Königl. technischen Versuchsanstalten zu Berlin, Jahrgang 1, Seite 33; Versuche G. Hilgenstocks: „Stahl und Eisen" 1893, Seite 51; Versuche Niedts: Zeitschrift des oberschlesischen berg- und hüttenmännischen Vereins 1885, Seite 389.

2) Vergleiche Fussanmerkung 1.

3) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 340.

4) Jernkontorets Annaler 1885, Seite 2.

dass das Eisen unbrauchbar wird, ist nicht in allen Eisensorten die nämliche. Mangan neben Schwefel mindert dessen Einfluss ab. Während manganfreies schmiedbares Eisen (Schweisseisen) schon bei 0,02 v. H. Schwefel merkliche Neigung zum Rothbruch besitzen kann, vermag Eisen mit 0,7 v. H. Mangan 0,10 v. H. Schwefel zu enthalten, ohne deutlichen Rothbruch zu zeigen. Diese Abminderung des Rothbruchs durch einen Mangangehalt des Eisens findet ihre Erklärung in der stärkern Verwandtschaft des Mangans zum Schwefel. Statt des Eisensulfürs ist Mangansulfür vorhanden, welches die Schmiedbarkeit weniger als jenes schädigt.

In Weissgluth dagegen ist dieser Einfluss des Schwefelgehalts so wenig als der des Sauerstoffs erkennbar.

Ein Einfluss des Kohlenstoffgehalts auf das Maass des durch Schwefel erzeugten Rothbruchs, ähnlich dem Einflusse auf den durch Phosphor erzeugten Kaltbruch (Seite 317), ist nicht bemerkbar. Manche Betriebsleute sind sogar der Meinung, dass ein kohlenstoffreicher Stahl weniger empfindlich für jene Einwirkung sei als ein kohlenstoffarmes Eisen. Vermuthlich spielt aber hierbei das anwesende Mangan, dessen Menge in den härteren Stahlsorten oft beträchtlicher ist, als im weichen Eisen, ebenfalls eine Rolle.

Die Einflüsse des Schwefelgehalts auf die Formen des Kohlenstoffs im Eisen und den Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff wurden schon früher besprochen: die Graphitbildung wird erschwert, der erreichbare Gesammtkohlenstoffgehalt erniedrigt. Bei der Roheisendarstellung befördert also ein Schwefelgehalt, sofern er einigermaassen beträchtlich ist, die Entstehung kohlenstoffarmen weissen Eisens. Hinsichtlich der Höhe des Gesammtkohlenstoffgehalts wirkt mithin der Schwefel in demselben Sinne als Silicium, hinsichtlich des Graphitgehalts aber umgekehrt als dieses.

Abscheidung des Schwefels aus dem Eisen.

Durch Verbrennung lässt sich nur ein kleiner Theil des Schwefelgehalts auch unter solchen Einflüssen abscheiden, welche eine beinahe vollständige Abscheidung des Kohlenstoff-, Silicium- und Mangangehalts bewirken.[1])

Dieselben chemischen Beziehungen aber, welche bei der Verhüttung schwefelhaltiger Erze oder bei der Benutzung schwefelhaltiger Brennstoffe die Aufnahme des Schwefels durch das Eisen zu verhindern vermögen, können auch eine Abscheidung des schon aufgenommenen ermöglichen.

Demnach giebt schwefelhaltiges Eisen bei Gegenwart von Kohle an kalkreiche Schlacken um so leichter Schwefel ab, je basischer diese sind und je höher die Temperatur ist. Bei mehreren von mir ausgeführten Versuchen wurde ein zu diesem Zwecke dargestelltes schwefelhaltiges Eisen mit 2,33 v. H. Schwefel ein Mal mit einer Singulosilikatschlacke, ein zweites Mal mit einer Bisilikatschlacke in Tiegeln, welche

1) Versuche Niedts: Zeitschrift des oberschlesischen berg- und hüttenmännischen Vereins 1885, Seite 392.

mit Holzkohle ausgefuttert waren, geschmolzen.[1]) Beide Schlacken enthielten neben Kalkerde etwas Thonerde, die Menge der Schlacke war in jedem Falle gleich der doppelten Menge des Eisens. Der Schwefelgehalt nach dem Schmelzen betrug in Hunderttheilen des Eisengewichts:

	im Eisen	in der Schlacke
bei der Singulosilikatschlacke . .	0,079	1,445
„ „ Bisilikatschlacke	0,557	0,681

Als die gleichen Schmelzversuche mit Schlacken wiederholt wurden, in denen die Kalkerde durch eine chemisch gleichwerthige Menge Magnesia ersetzt worden war, ergab sich der Schwefelgehalt:

	im Eisen	in der Schlacke
bei der Singulosilikatschlacke . .	0,260	1,069
„ „ Bisilikatschlacke	0,391	0,290

Die Versuche zeigen deutlich die stärker entschwefelnde Wirkung der Kalkerde.

Sofern das Eisen selbst Kohlenstoff enthält, ist für die Entschweflung die Anwesenheit fremden Kohlenstoffs nicht unbedingt erforderlich; aber je kohlenstoffärmer das Eisen ist, desto schwieriger gelingt in diesem Falle die Entschweflung.

Da nun sehr kalkerdereiche Schlacken zugleich sehr strengflüssig sind, erniedrigt man wohl ihre Schmelztemperatur, wenn man sie als Entschweflungsmittel benutzen will, durch Zusatz von Flussspath (Rollets Verfahren, in der zweiten Abtheilung der Eisenhüttenkunde erwähnt) oder von Chlorcalcium (Saniters Verfahren beim Martinschmelzen, in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochen).

Wenn jedoch das Eisen neben viel Schwefel auch einen reichen Kohlenstoffgehalt besitzt, oder wenn schwefelreiches Eisen längere Zeit mit Kohle erhitzt wird, so vermag diese allein schon, wie mehrfach beobachtet wurde, einen Theil des Schwefels, vermuthlich als Schwefelkohlenstoff, zu verflüchtigen. Beim Schmelzen grauen Roheisens mit Schwefeleisen in solchen Gewichtsverhältnissen, dass der durchschnittliche Schwefelgehalt 0,90 v. H. betrug, fand Smith nach einstündiger Erhitzung nur einen Schwefelgehalt von 0,091 v. H., und verschiedene gleiche Versuche lieferten ähnliche Ergebnisse.[2]) Boussingault glühte weisses Roheisen 36 Tage lang in Holzkohlen, wobei sich dessen Schwefelgehalt von 0,101 v. H. auf 0,036 v. H. verringerte, und ein gleicher Versuch mit schwedischem Schweisseisen ergab eine Schwefelabnahme von 0,055 v. H. auf 0,019 v. H.[3])

Auch durch Aufnahme eines reichlichen Siliciumgehalts kann Schwefel aus dem Eisen verdrängt werden.[4])

Wie kalkerdereiche Schlacken fähig sind, Schwefelcalcium zu lösen und auf Grund dieser Eigenschaft entschwefelnd auf Eisen in der oben geschilderten Weise einzuwirken, so vermögen eisenoxydulreiche,

1) Zeitschrift des berg- und hüttenmännischen Vereins für Steiermark und Kärnthen 1881, Seite 55.

2) H. Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 1, Seite 278.

3) Annales de chimie et de physique, série 5, t. 5, p. 145.

4) Versuche Turners hierüber: „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 580; K. Hilgenstocks: „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 340.

basische Schlacken Schwefeleisen aufzunehmen, und da ihre Neigung hierzu augenscheinlich noch stärker ist, als die des metallischen Eisens, so wirken sie entschwefelnd auf dieses ein, wenn beide Körper im geschmolzenen Zustande in Berührung treten. Hier findet demnach eine Entziehung des Schwefeleisens, ein Uebergang aus dem Metalle in die Schlacke ohne sonstige chemische Umsetzung statt, und die für die Entschweflung durch Kalkerde allein nothwendige Gegenwart von Kohle ist entbehrlich. Als Stead Eisen, welches

C	S	Mn	P	Si	
1,85	1,83	0,09	2,10	0,05	v. H.

enthielt, in einem Thontiegel mit einer Schlacke zusammenschmolz, welche aus

FeO	Fe_2O_3	MnO	SiO_2	S
66,87	13,14	0,86	16,70	0,16

Gewichtstheilen bestand, verringerte sich der Schwefelgehalt des Eisens auf 0,58 v. H., während der Schwefelgehalt der Schlacke auf 2,26 v. H. stieg und als Schwefelmetall (nicht etwa als Sulfat) anwesend war.[1]) Die gleiche Beobachtung lässt sich im Betriebe bei der Schweisseisendarstellung aus Roheisen bei Gegenwart eisenoxydulreicher Schlacken machen (Frischfeuer- und Puddelbetrieb; Beispiele in der dritten Abtheilung).

Diese Eigenschaft des Eisenoxyduls, Eisensulfür zu lösen, erklärt es, dass auch kalkreiche Schlacken, wenn sie zugleich Eisenoxydul enthalten, fähig sind, geschmolzenem Eisen ohne Mitwirkung von Kohle Schwefel zu entziehen; aber ihre Wirkung ist weniger kräftig.

Als ein besonders kräftig wirkendes Entschweflungsmittel aber hat sich das metallische Mangan erwiesen. Sein Einfluss beruht auf zwei verschiedenen Umständen: seiner schon oben erwähnten stärkern chemischen Verwandtschaft zum Schwefel und der Schwerlöslichkeit des Schwefelmangans im Eisen. Aus mangan- und schwefelhaltigem Eisen treten beide Körper zusammen aus, wenn das Metall längere Zeit flüssig erhalten wird.

Schon Berthier machte die Beobachtung, dass beim Schmelzen einer schwefelhaltigen und zugleich manganhaltigen Beschickung Schwefel in die Schlacke geführt werde; Caron wies später durch Versuche nach, dass auch dem Roheisen durch Schmelzen mit Mangan ein grosser Theil seines Schwefelgehalts entzogen werden könne. Ein Roheisen, welches 1,15 v. H. Schwefel enthielt und dessen Schwefelgehalt nach einfacher Schmelzung ohne Mangan sich nur auf 1,14 v. H. abgemindert hatte, wurde mit 6 v. H. Manganzusatz geschmolzen, wobei sich der Schwefelgehalt auf 0,15 v. H., der Mangangehalt auf 3,92 v. H. abminderte; wiederholte Versuche ergaben ähnliche Ergebnisse und theilweise noch niedrigeren Schwefelgehalt.[2]) Walrand erzielte durch einfaches Mischen geschmolzenen schwefelreichen Eisens mit geschmolzenem manganreichem Eisen eine Abminderung des Schwefelgehalts von 0,50 auf 0,06 v. H.[3])

1) Vergl. Litteratur; auch „Stahl und Eisen" 1894, Seite 337.

2) Comptes rendus, tome 56, p. 828; daraus: Journal für praktische Chemie, Band 89, Seite 504; Berg- u. hüttenm. Ztg. 1863, Seite 372; Dinglers polyt. Journal, Band 168, Seite 380.

3) Revue universelle des mines 1881, tome 10, p. 407.

und K. Hilgenstock verringerte durch Zusammengiessen geschmolzenen Schwefeleisens und reichen Eisenmangans in annähernd gleichen Gewichtsmengen den Schwefelgehalt des Metalls auf 0,03 bis 0,05 v. H., während grünes Schwefelmangan sich ausschied.[1])

Auch im Betriebe lässt sich nicht selten diese Einwirkung eines Mangangehalts auf Schwefel beobachten. Auf fliessendem, verhältnissmässig schwefelreichem Roheisen (z. B. Thomasroheisen) erscheinen, wenn dieses zugleich manganhaltig ist, Aussonderungen in der Grösse einer Wallnuss oder darüber, frühzeitiger erstarrend als das Muttereisen und bedeutend reicher als dieses an Mangan und Schwefel, ärmer an Kohlenstoff. So z. B. enthielt eine derartige von mir untersuchte Aussonderung von grauweisser Farbe und erdigem Bruchaussehen:

Mn	S	C
8,51	3,04	2,00 v. H.,

während das Muttereisen nur 0,15 v. H. Schwefel neben 3 v. H. Mangan und 3,00 v. H. Kohlenstoff enthielt.

Einem ähnlichen Vorgange verdanken die auf ruhig stehendem Roheisen sich häufig bildenden sogenannten „Wanzen“ ihr Entstehen, dunkele blatternartige Absonderungen, welche theilweise aus oxydirten Körpern zu bestehen, in allen Fällen aber reicher an Schwefel und Mangan zu sein pflegen, als das Eisen, aus dem sie sich ausschieden. Deutlich zeigt sich dieser Vorgang in folgender Zusammensetzung eines für die Giesserei bestimmten Gusseisens und der von dessen Oberfläche beim ruhigen Stehen abgeschöpften „Wanzen“:[2])

	C	Si	P	S	Mn	Fe	Sauerstoff (als Gewichtsunterschied)
Gusseisen . .	3,463	2,196	n. best.	0,056	2,620	n. best.	0,000
Wanzen . . .	3,818	1,869	0,475	0,223	5,188	87,099	1,328

Wenn noch andere Körper aus dem Eisen austreten, unter dem Einflusse der Luft verbrennen und ebenfalls in jenen Wanzen sich sammeln, so tritt bei deren Untersuchung der in Rede stehende Einfluss des Mangans nicht ganz so deutlich zu Tage; immerhin aber findet man auch in diesen besonders häufig vorkommenden Fällen stets einen hohen Schwefelgehalt der Wanzen; z. B.

	I	II
Kieselsäure	29,30	12,81
Eisenoxyd	13,46	0,00
Eisenoxydul	46,73	5,98
Manganoxydul	6,40	79,77
{Mangan	0,79	0,81
{Schwefel	0,46	0,47
Phosphorsäure	2,66	0,00
	99,80	99,84

1) „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 339.

2) Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, Seite 322. (Vom Verfasser angestellte Untersuchung.)

Die Probe I stammte von einem weissen Roheisen aus dem Saargebiete, die Probe II von Thüringer Spiegeleisen mit nur einer geringen Spur Schwefel und 9,60 v. H. Mangan. In der zweiten Probe wurde auch 0,03 v. H. Silber gefunden. Beide Untersuchungen wurden von mir ausgeführt.[1])

Zum Theil beruht auch auf dieser Wirkung des Mangans die schon erwähnte Thatsache, dass bei Verhüttung manganreicher, schwefelhaltiger Erze oder Benutzung schwefelhaltiger Brennstoffe zur Verhüttung manganhaltiger Erze der Schwefel in die Schlacke geführt wird, wenn diese ausreichend manganreich ausfällt. Eine andere Anwendung der entschwefelnden Wirkung des Mangans macht man im Betriebe bei dem in der zweiten Abtheilung beschriebenen, in Hörde zuerst ausgebildeten Entschweflungsverfahren: man mischt, wie bei Walrands Versuchen im Kleinen, schwefelreiches manganarmes Roheisen mit manganreicherem Roheisen im flüssigen Zustande, wobei schwefel- und manganreiche Aussonderungen sich bilden.

8. Eisen und Mangan.

Reduction des Mangans. Eisenmanganlegirungen.

Das Mangan gehört zu den schwer reducirbaren Metallen und wird nur in Weissgluth durch festen Kohlenstoff reducirt. Da es sich leicht mit dem Eisen legirt, befördert die Anwesenheit reducirten Eisens auch die Reduction des Mangans, und hieraus erklärt sich, dass beim Verhütten manganhaltiger Erze unter Einflüssen, welche eine annähernd vollständige Reduction des Eisens bewirken (im Hochofen), regelmässig auch ein Theil des Mangangehalts reducirt und vom Eisen aufgenommen wird, selbst wenn die Temperatur nicht so hoch sein sollte, als für die Reduction eines grösseren Mangangehalts erforderlich sein würde. Ebenso regelmässig aber pflegt ein anderer Theil des Mangans in den Schlacken als Manganoxydul zurückzubleiben.

Durch die Anwesenheit einer stark basischen, zumal kalkreichen Schlacke wird die Reduction des Mangans befördert, da das Manganoxydul selbst eine kräftige Base ist und um so stärkere Neigung besitzt, in ein Silikat einzutreten, also um so schwieriger reducirbar ist, je grösser die Menge der anwesenden Kieselsäure ist.

Bei der Reduction des Mangans durch Kohle erfolgt stets Kohlenstoffmangan, dessen Kohlenstoffgehalt mit dem Mangangehalte steigt, wie auf Seite 291 angegeben wurde, und etwa 7,5 v. H. beträgt, sofern sonstige Körper nicht zugegen sind. Häufig aber wird neben dem Mangan auch Silicium reducirt, wodurch der Sättigungsgrad für Kohlenstoff sich verringert, und da kaum ein Manganerz vollständig frei von Eisen ist, würde ein eisenfreies Mangan nur aus solchen Verbindungen sich herstellen lassen, welche zuvor chemisch von ihrem Eisengehalte befreit sind.

Je weniger Eisen aber neben Mangan reducirt wird, desto höher liegt die zur Reduction erforderliche Temperatur, und die Darstellung

1) Sonstige Untersuchungen: Dinglers polyt. Journal, Band 214, Seite 48 (Muck).

sehr manganreicher Legirungen ist nur in Temperaturen möglich, in denen bereits ein Theil des Mangans Gasform annimmt und sich verflüchtigt, an der Luft zu rothbraunem Manganoxyduloxyd verbrennend.

Die Schwierigkeit der Darstellung manganreicher Legirungen wächst daher mit ihrem Mangangehalte, und der Preis der gleichen Menge Mangans in den Legirungen steigt um so höher, je weniger Eisen neben dem Mangan zugegen ist.

Erreicht aber der Mangangehalt in den durch Reduction mit Kohlenstoff gewonnenen Legirungen die Höhe von 90 v. H. oder wenig darüber, so zeigt sich ein eigenthümliches Verhalten: das Metall berstet nach kurzer Zeit an verschiedenen Stellen, schwillt förmlich auf und zerfällt schliesslich zu Pulver. Die Ursache dieser Erscheinung ist höchstwahrscheinlich das Entweichen von Wasserstoffgas, welches beim Erstarren zunächst in die Legirung in gebundener Form mit einging und, wenn es allmählich wieder Gasform annimmt, das Metall zum Zerfallen bringt. Solches zerfallenes Mangan, in einer verstopften Flasche aufbewahrt, entwickelt noch nach Jahren einen deutlichen Geruch nach Kohlenwasserstoff.[1]) Die Höhe des Mangangehalts, bei welchem jenes Zerfallen eintritt, ist zum Theil von der Beschaffenheit der sonstigen anwesenden Fremdkörper abhängig. Während ein von mir untersuchtes zerfallenes Mangan folgende Zusammensetzung besass:

Mangan	88,59 v. H.
Eisen	3,91 „ „
Kohlenstoff	7,24 „ „
Silicium	0,24 „ „

fanden sich darin Kugeln von Haselnussgrösse, welche auch nach Jahren noch vollständig fest geblieben waren und bei der Untersuchung die Zusammensetzung zeigten:

Mangan	85,500
Eisen	7,825
Kohlenstoff	6,613
Silicium	0,060

Das abweichende Verhalten ist also hier durch den um 3 v. H. höheren Mangangehalt der ersteren Legirung bedingt.

Nach Brunner besitzt kohlenstofffreies Mangan, welches man durch Reduction von Manganchlorür mit Natrium erhält und welches stets siliciumhaltig ist, nicht jene Eigenschaft des Zerfallens;[2]) wenn man Aluminium als Reductionsmittel benutzt, lässt sich kohlenstofffreies Mangan mit mehr als 96 v. H. Mangan darstellen, welches siliciumhaltig zu sein pflegt und nicht zerfällt.[3]) Ob dem Siliciumgehalt hierbei eine Mitwirkung zufällt oder ob das Mangan in diesen Fällen nur deshalb beständig ist, weil die Herstellungsweise die Aufnahme von

1) Irrig ist die mitunter ausgesprochene Behauptung, dass Oxydation des Mangans die Ursache des Zerfallens sei. Der Sauerstoffgehalt eines von mir untersuchten derartigen Manganpulvers war selbst nach Verlauf mehrerer Jahre unbedeutend.

2) Liebigs Jahresberichte über die Fortschritte der Chemie 1858, Seite 201.

3) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 346; 1898, Seite 471.

Gasen ausschliesst, welche in dem andern Falle die Ursache des Zerfallens bilden, möge hier unentschieden bleiben.

Manganreiche, kohlenstoffhaltige Eisenlegirungen krystallisiren in Säulen. Deutlich ausgebildet zeigt sich diese Krystallform, wenn der Mangangehalt 30 v. H. oder darüber beträgt.

Einflüsse des Mangangehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen grossen Mangangehalt etwas, aber nicht so beträchtlich erhöht, wie man vielfach annimmt Nach Osmond[1]) schmilzt eine kohlenstoffhaltige Legirung mit 20 v. H. Mangan bei 1083° C., eine solche mit 50 v. H. Mangan bei 1154° C. Zieht man nun in Betracht, dass die erstere Legirung etwa 5, die andere etwa 6 v. H. Kohlenstoff zu enthalten pflegt (Seite 291), so zeigt sich kein grosser Unterschied bei einem Vergleiche der gefundenen Schmelztemperaturen mit denjenigen, welche andere kohlenstoffreiche, aber manganarme Eisensorten besitzen. Dass ein geringer Mangangehalt (1 bis 2 v. H.) die Schmelztemperatur des Eisens eher erniedrige als erhöhe (wie kleine Mengen Blei die Schmelztemperatur des Zinns, kleine Mengen Silber die des Bleis erniedrigen), lässt sich aus Beobachtungen im Betriebe schliessen, ohne jedoch bislang durch genauere Untersuchungen nachgewiesen zu sein.

Die Härte des Eisens wird durch einen Mangangehalt gesteigert. In kohlenstoffhaltigem Eisen erhöht ein Mangangehalt den Gehalt an Härtungskohle (Beispiele auf Seite 304); daher erfährt dieses bei Aufnahme von Mangan eine Härtesteigerung sowohl unmittelbar als infolge dieser Zunahme des Gehalts an Härtungskohle. Auffallenderweise aber hält diese Härtezunahme nicht gleichmässig mit der Anreicherung des Mangangehaltes Schritt, sondern tritt bei einzelnen Mangangehalten in besonders deutlicher Weise hervor, und die Härte verringert sich wieder, wenn der Mangangehalt fernerhin steigt. Nach Hadfield nimmt der Härtegrad von Eisenmanganlegirungen, welche den Kohlenstoffgehalt des Stahls besitzen, mit dem Mangangehalte zu, bis dieser ungefähr 6 v. H. beträgt, und ein Stahl mit diesem Mangangehalte wird durch keinerlei Werkzeuge angegriffen; alsdann sinkt der Härtegrad wieder bis zu einem Mangangehalte von 10 v. H. Beim Ueberschreiten dieser Grenze wird die Härte wieder bedeutender, und bei 22 v. H. Mangan ist sie sehr beträchtlich.[2]) Ganz zuverlässige Schlussfolgerungen über den Einfluss des Mangangehalts ermöglichen jedoch diese Angaben nicht, weil der Kohlenstoffgehalt der untersuchten Proben nicht immer ganz gleich war. Unter den auf Seite 304 unter 11 und 12 erwähnten zwei Manganstählen mit annähernd gleichem Kohlenstoffgehalte zeigte die Probe 11 mit 10,6 v. H. Mangan im naturharten Zustande einen höheren Gehalt an Härtungskohle als die Probe 12 mit 12,3 v. H. Mangan, und im Einklange hiermit erwies sich die erstere bei der Prüfung mit dem Härtemesser auch etwas härter als die letztere.[3]) Inwiefern die Ab-

1) Comptes rendus 106, p. 1156.

2) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol 13, p. 233; vol. 15, p. 461. „Stahl und Eisen" 1888, Seite 300; 1891, Seite 993.

3) T. Mukai, Studien über Manganstahl, Freiberg 1892, Seite 12.

kühlungsverhältnisse hierbei von Einfluss gewesen waren, liess sich nicht nachweisen, da die Proben verschiedenen Fabriken entstammten. Weil aber manganreicher Stahl (Manganstahl) schon in naturhartem Zustande reicher an Härtungskohle ist als manganarmer, ist seine Härtungsfähigkeit, d. h. die Zunahme seiner Härte beim Ablöschen in Wasser, weniger deutlich. Bei den erwähnten Manganstählen wuchs der Gehalt an Härtungskohle durch das Ablöschen

bei dem Manganstahl mit 10,6 v. H. Mangan im Verhältnisse 1 : 1,2
" " " " 12,3 " " " " " 1 : 1,7;

dagegen bei dem manganarmen, auf Seite 304 unter 9 aufgeführten Werkzeugstahle im Verhältnisse 1 : 3.

Die Prüfung mit dem Härtemesser ergab:

bei dem Manganstahle mit 10,6 v. H. Mangan eine Zunahme der Härte im Verhältnisse 1 : 1,1
" " " " 12,3 " " " " " " " " " 1 : 1,4,

während bei manganarmem Stahl eine Härtezunahme im Verhältnisse 1 : 1,8 zu beobachten war. [1])

Die Festigkeit kohlenstoffarmen Eisens wird durch einen Mangangehalt gesteigert; aber auch hier tritt, wie bei der Steigerung des Gehalts an anderen Körpern, bald eine Grenze ein, über welche hinaus die Festigkeit rasch wieder abnimmt. Dieser Zeitpunkt wird um so früher erreicht, je mehr Kohlenstoff neben Mangan zugegen ist. Aus Festigkeitsversuchen, welche mit einer grösseren Zahl manganhaltiger Eisensorten angestellt wurden, schliesst Wedding, [2]) dass für solches Eisen, von dem eine grosse Festigkeit verlangt wird, der Mangangehalt niemals 3 v. H. überschreiten darf, während das günstigste Verhältniss bei etwa 0,95 v. H. Kohlenstoff mit 0,5—0,6 v. H. Mangan zu liegen scheint.

Mit der Festigkeit steigert sich die Elasticitätsgrenze, und zwar noch etwas rascher als diese; die Folge ist, dass die Zähigkeit und Dehnbarkeit des Eisens mit zunehmendem Mangangehalte sich verringern. Manganreiches Roheisen (Spiegeleisen) und Eisenmangane sind so wenig fest und so spröde, dass sie ohne Schwierigkeit im Mörser gepulvert werden können. Ueber ein abweichendes Verhalten von Manganstahl mit 10 — 18 v. H. Mangan vergleiche Abtheilung 3 (Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens).

Der Einflüsse des Mangangehalts auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff und die Formen des Kohlenstoffs im Eisen ist bereits oben (Seite 291, 296, 300) gedacht worden. Mangan befördert hiernach die Entstehung eines kohlenstoffreichen Eisens und erschwert die Graphit- und Karbidbildung. Es wirkt entgegengesetzt wie Silicium.

Ebenso fanden die Einflüsse des Mangangehalts auf den Schwefelgehalt und auf das Maass des durch Schwefel erzeugten Rothbruchs auf Seite 321 und 323 die ihnen gebührende Erwähnung.

Eine merkliche Beeinflussung des durch Phosphor im Eisen hervorgerufenen Kaltbruchs durch anwesendes Mangan findet dagegen nicht

1) Fussanmerkung 3 auf Seite 327.

2) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1881, Seite 509.

statt, weder eine Verstärkung der Phosphorwirkung (wie durch Kohlenstoff) noch eine Abschwächung. Auch eine Ausscheidung von Phosphor durch Mangan aus dem Eisen ist unmittelbar nicht, wie die des Schwefels, erreichbar.

Abscheidung des Mangans aus dem Eisen.

Die Abscheidung des im Eisen enthaltenen Mangans erfolgt ziemlich leicht durch Einwirkung oxydirender Körper (Luft, eisenoxydhaltiger Schlacken u. a.) auf das geschmolzene Metall. Die Gegenwart saurer Schlacken befördert, die Gegenwart basischer Schlacken verzögert das Austreten des Mangans. Vor dem Kohlenstoff tritt neben Silicium und Phosphor ein grosser Theil des Mangans schon aus, wenn die Temperatur verhältnissmässig niedrig liegt (Schmelztemperatur des Roheisens); neben dem Kohlenstoff in höherer Temperatur. Sind aber stark basische Schlacken zugegen, so kann in hoher Temperatur ein Theil des Mangans noch zurückbleiben, nachdem der Kohlenstoff bereits bis auf kleine Mengen entfernt worden ist (Thomasverfahren).

9. Eisen und Kupfer.

Kleine Mengen Kupfer werden ohne Schwierigkeit vom Eisen aufgenommen, und da das Kupfer leichter reducirbar und schwerer oxydirbar ist als das Eisen, erklärt es sich, dass bei der Verhüttung kupferhaltiger Eisenerze ihr Kupfergehalt vollständig oder doch fast vollständig reducirt wird, mit dem Eisen sich vereinigt und auch durch Oxydation nicht, wie Mangan, Silicium, Kohlenstoff, wieder davon zu trennen ist, sondern es durch alle Stufen der Verarbeitung hindurch begleitet.

Glücklicherweise sind die Einwirkungen, welche durch einen mässigen Kupfergehalt auf die Eigenschaften des Eisens ausgeübt werden, nicht sehr erheblich.[1])

Dass die Festigkeit reinen Eisens durch einen Kupfergehalt bis zu einer gewissen Grenze gesteigert werden könne, wie auch umgekehrt die Festigkeit des reinen Kupfers durch einen Eisengehalt sich erhöhen lässt,[2]) unterliegt keinem Zweifel; aber der in dem gewerblich dargestellten Eisen zufällig anwesende Kupfergehalt ist nicht bedeutend genug, um eine wesentliche Einwirkung in dieser Beziehung hervorzubringen. Mit der Festigkeit steigt unleugbar die Sprödigkeit, und in Eisensorten, an deren Verhalten bei der Beanspruchung durch Stösse hohe Ansprüche gestellt werden, sieht man daher einen hohen Kupfergehalt nicht gern.

Ein anderer Einfluss, den ein Kupfergehalt des Eisens auf dieses ausübt, ist die Erzeugung von Rothbruch, ähnlich wie ihn Schwefel hervorruft; aber die Einwirkung des Kupfers in dieser Beziehung ist bedeutend geringer als die des Schwefels. In früherer Zeit nahm man an, dass etwa 0,4 v. H. Kupfer beginnenden Rothbruch hervorrufe.

1) Es möge hier daran erinnert werden, dass man kupferreiche Erze überhaupt nicht auf Eisen, sondern zunächst auf Kupfer verarbeiten wird, dessen Preis erheblich höher ist. Daher enthält gewerblich dargestelltes Eisen selten mehr als 0,4 v. H. Kupfer, gewöhnlich weniger.

2) A. Ledebur, Metallverarbeitung auf chemisch-physikalischem Wege, Braunschweig 1882, Seite 38.

Eggertz schreibt dem Kupfergehalte im Stahl eine stärkere Wirkung zu als im Schmiedeeisen und giebt an, dass ein Gehalt von 0,5 v. H. Kupfer ersteren unbrauchbar mache, während ein kohlenstoffarmes Eisen mit dem nämlichen Kupfergehalte nur Spuren von Rothbruch zeige.[1]) Aus späteren, von Wasum angestellten Versuchen ergiebt sich in der That, dass bei einem Kohlenstoffgehalte des Eisens von 0,2 bis 0,3 v. H. die Einwirkung des Kupfers nur unbedeutend ist. Einiges Nähere hierüber in der dritten Abtheilung (Schmiedbarkeit des Eisens).

Kupferreichere Legirungen lassen sich durch Zusammenschmelzen beider Metalle herstellen, besitzen aber nicht solche Eigenschaften, dass ihre Verwendung räthlich erscheinen könnte. Sie sind, so lange nicht der Kupfergehalt den Eisengehalt überwiegt, hart, spröde und zum Saigern geneigt. Je höher aber der Kohlenstoffgehalt des angewendeten Eisens ist, desto schwieriger findet Vereinigung statt und desto leichter scheidet das Kupfer wieder aus, was durch die geringe chemische Verwandtschaft des Kupfers zum Kohlenstoff sich erklären lässt. In Lüttich vor Jahrzehnten angestellte Versuche, Roheisen mit Kupfer zu einer gleichartigen Legirung zusammenzuschmelzen, blieben ohne Erfolg.[2])

10. Eisen und Nickel oder Kobalt.

Beide in der Ueberschrift genannten Metalle finden sich in kleinen Mengen häufig in den Eisenerzen und verhalten sich beim reducirenden Schmelzen der letzteren ebenso wie das Kupfer, d. h. sie werden ebenfalls reducirt, legiren sich mit dem Eisen und lassen sich auch durch oxydirende Einwirkungen nicht wieder von ihm trennen.

Die Menge des solcherart in das Eisen geführten Nickels oder Kobalts beträgt mitunter einige Tausendstel, häufiger noch weniger. Auch hierbei kommt in Betracht, dass man bei dem hohen Preise des Nickels und Kobalts Erze, welche reicher daran sind, nicht unmittelbar auf Eisen, sondern auf jene Metalle zu verarbeiten pflegt.

Irgend eine Beeinflussung der Eigenschaften des Eisens durch jenen geringen Gehalt an den in Rede stehenden Metallen ist bislang nicht nachgewiesen worden.

Durch Zusammenschmelzen lassen sich sowohl Nickel als Kobalt leicht mit dem Eisen vereinigen. Früher angestellte Versuche, solche Legirungen zu verwenden, hatten jedoch nur unbefriedigenden Erfolg. Die Ursache davon lag indess nicht sowohl in einer ungünstigen Beeinflussung des Verhaltens des Eisens durch das Metall selbst, als vielmehr in dem Umstande, dass man früher noch nicht im Stande war, ein ausreichend reines Nickel oder Kobalt zu gewinnen. Man führte mit diesen Metallen Kupfer, Arsen, Schwefel und andere Fremdkörper in das Eisen und machte dieses dadurch unbrauchbar.

Erst seit einigen Jahren, nachdem man gelernt hat, jene Metalle reiner als früher darzustellen, hat man sich dem Gegenstande auf's neue zugewendet und dabei gefunden, dass ein gewisser Nickelgehalt dem schmiedbaren Eisen (Flusseisen) allerdings Eigenschaften verleiht,

1) Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie 1862, Seite 9.
2) Annales des mines, série 3, tome 3, p. 233 (1833).

die es für gewisse Verwendungen tauglicher als das nicht legirte Metall erscheinen lassen. Es wird härter und fester, ohne dasjenige Maass der Sprödigkeit anzunehmen, welches ein ihm die gleiche Härte und Festigkeit verleihender Kohlenstoffgehalt hervorrufen würde, und das Maass der durch einen Kohlenstoff- und Nickelgehalt erreichbaren Festigkeit ist grösser, als wenn das Metall nur Kohlenstoff ohne Nickel enthält. Näheres in der dritten Abtheilung und in den unter Litteratur genannten Abhandlungen.

Die Herstellung solcher Eisennickellegirungen lässt sich durch Auflösen des Nickels in dem im Tiegel oder Flammofen (Martinofen, siehe Abtheilung 3) geschmolzenen Eisen bewirken. Auch ein Zusatz von Nickeloxydul, welches durch kohlenstoffhaltiges Eisen leicht reducirt wird, führt zum Ziele. Bei einem Gehalte von einigen Hunderttheilen Nickel leidet die Bearbeitungsfähigkeit durch Schmieden, Pressen, Walzen im glühenden Zustande keine merkliche Einbusse; nickelreichere Legirungen erheischen dagegen grössere Vorsicht als gewöhnliches Flusseisen.

Man hat im Grossen Legirungen des Eisens mit Nickel bis zu einem Nickelgehalte von 25 v. H. dargestellt; ihre hauptsächlichste Verwendung haben sie bei Herstellung von Panzerplatten für Kriegsschiffe gefunden, wobei der Nickelgehalt 3 bis 5 v. H. zu betragen pflegt. Eine sehr ausgedehnte Benutzung ist durch den hohen Preis des Nickels ausgeschlossen. Der Zusatz von nur 1 v. H. Nickel erhöht den Preis des Eisens um ungefähr ein Drittel.

Aus diesem Grunde hat auch das noch kostspieligere Kobalt keine Aussicht, für die gewerbliche Darstellung von Eisenkobaltlegirungen herangezogen zu werden.

Dass Meteorite neben Eisen auch Nickel und Kobalt zu enthalten pflegen, also Legirungen dieser Metalle sind, möge hier nur kurz erwähnt werden.

11. Eisen und Chrom.

Reduction und Aufnahme des Chroms.

Wenn man chromhaltige Eisenerze unter stark reducirenden Einflüssen mit Kohle verhüttet (Hochofenschmelzen), pflegt ein Theil des Chroms reducirt und vom Eisen aufgenommen zu werden. Nach Hadfield geht die Reduction des Chroms noch leichter als die des Mangans von statten. [1]) Der Fall ist nicht selten, bleibt aber häufig unbeachtet, da der aufgenommene Chromgehalt nicht erheblich (0,1 v. H. oder weniger) zu sein pflegt.

Chromeisenlegirungen mit höherem Chromgehalte kann man durch Schmelzen der Oxyde beider Metalle oder des Chromeisenerzes mit Kohle im Tiegel darstellen. Bei Verwendung von Chromeisenerz muss dieses mit geeigneten Körpern zur Verschlackung der Fremdkörper beschickt werden. Auch im Hochofen erzeugt man bisweilen Chromeisenlegirungen, wenn der Bedarf daran ausreichend gross ist, um diese Betriebsweise zu rechtfertigen. Zuerst, und zwar im Jahre 1878, kam

1) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 18.

das letztere Verfahren bei dem Eisenwerke zu Terrenoire in Frankreich in Anwendung; seitdem haben sich mehrere, insbesondere französische Werke (Saint-Louis) damit beschäftigt.

Alles durch Reduction mit Kohle gewonnene Chromeisen enthält Kohlenstoff, dessen Gehalt mit dem Chromgehalte zuzunehmen pflegt. Kohlenstofffreies Chromeisen oder auch reines Chrom wird neuerdings durch Benutzung von Aluminium als Reductionsmittel dargestellt.[1])

Einflüsse des Chromgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Die Chromeisenlegirungen haben weisse Farbe und zeigen mitunter, insbesondere bei hohem Chromgehalte, ein eigenthümliches Gefüge, welches augenscheinlich aus einer Anhäufung zahlreicher nadelförmiger Krystalle hervorgegangen ist. Einzelne solcher Krystallnadeln sind gewöhnlich deutlich erkennbar. Bei Abnahme des Chromgehalts wird das Gefüge dichter, aber selbst im chromhaltigen Stahl mit nicht mehr als 1,00 v. H. Chrom lässt sich, zumal bei Benutzung des Mikroskops, mitunter noch die Neigung zur Bildung nadelförmiger Krystalle wahrnehmen.

Die Schmelztemperatur wird durch einen Chromgehalt von weniger als 10 v. H. eher erniedrigt als erhöht, steigt aber rasch mit dem Chromgehalte, sobald dieser eine gewisse, bislang noch nicht genau ermittelte und vermuthlich auch von dem anwesenden Kohlenstoffgehalte abhängige Grenze überschreitet. Osmond[2]) fand, dass eine Legirung mit 66 v. H. Chrom und 6,47 v. H. Kohlenstoff bei 1475° C. noch unvollständig geschmolzen war und eine andere Legirung mit 80 v. H. Chrom und etwa 3,5 v. H. Kohlenstoff selbst bei 1485° noch keine Spur beginnender Schmelzung erkennen liess. Dagegen begann ein Stahl mit 5,19 v. H. Chrom und 0,77 v. H. Kohlenstoff bereits bei 1380° C. zu schmelzen, während ein chromfreier Stahl mit dem gleichen Kohlenstoffgehalte eine Schmelztemperatur von etwa 1420° C. besitzt. Wegen jener Erhöhung der Schmelztemperatur durch einen hohen Chromgehalt wächst mit letzterem die Schwierigkeit der Herstellung chromreicher Legirungen, sofern Kohlenstoff als Reductionsmittel und Brennstoff dient; bei Benutzung von Aluminium als Reductionsmittel dagegen reicht die durch dessen Verbrennung entwickelte Wärme allein aus, das abgeschiedene Chrom zu schmelzen.[3])

Der Härtegrad kohlenstofffreien Eisens wird nach Hadfields Ermittelungen durch einen Zusatz von Chrom nicht erheblich gesteigert; deutlich aber ist der Einfluss, wenn das Metall auch kohlenstoffhaltig ist. Chromhaltiger Stahl mit 0,70 v. H. Kohlenstoff und 9,0 v. H. Chrom wird auch im ausgeglühten Zustande von einer harten Feile nicht mehr angegriffen, während ein chromfreier Stahl mit dem nämlichen Kohlenstoffgehalte ohne Schwierigkeit feilbar ist, sofern er nicht durch Ablöschen gehärtet wurde. Beim Ablöschen chromhaltigen Stahls aber genügt eine weniger rasche Abkühlung als beim chromfreien Stahle,

1) „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 470.

2) „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 24 (aus Hadfields Abhandlung über Chromeisenlegirungen im Journal of the Iron and Steel Institute 1892 II).

3) Fussanmerkung 1.

die Härte zu steigern und der durch das Ablöschen erreichbare Härtegrad ist beträchtlicher als der des chromfreien Stahles, selbst wenn dessen Kohlenstoffgehalt höher ist. Man darf hiernach annehmen, dass der Chromgehalt den Uebergang der Härtungskohle in Karbidkohle erschwert.

Auch die Festigkeit des Eisens wird durch einen mässigen Chromgehalt gesteigert und zwar die des kohlenstoffhaltigen Eisens (Stahls) stärker als die des kohlenstofffreien; aber mit der Festigkeit wächst auch die Sprödigkeit, obgleich vielleicht nicht ganz in dem Maasse, wie durch entsprechende Erhöhung des Kohlenstoffgehalts.[1]) Bei einem Chromgehalte von etwa 5 v. H. wird die Grenze erreicht, deren Ueberschreiten eine Verminderung statt Erhöhung der Festigkeit herbeiführt; aber solcher Stahl ist bereits sehr spröde.

Von jener durch einen Chromgehalt erreichbaren Steigerung der Härte, Härtungsfähigkeit und Festigkeit macht man bei der Stahldarstellung Anwendung, wenn die Aufgabe vorliegt, für gewisse Verwendungen einen besonders widerstandsfähigen Stahl zu gewinnen. Man benutzt hierbei jene chromreichen Legirungen, um sie in entsprechenden Gewichtsverhältnissen dem geschmolzenen chromfreien Stahle zuzusetzen. Je höher aber der Chromgehalt ist, desto schwieriger verarbeitbar ist der Stahl, desto leichter entstehen Misserfolge insbesondere beim Härten. Bei nur 0,5 v. H. Chrom neben etwa 1 v. H. Kohle ist schon Vorsicht beim Härten erforderlich, um das Zerspringen des Stahls zu verhüten; ein Gehalt von 1 v. H. Chrom wird bei Stahlwaaren, welche gehärtet werden, selten überschritten.

Auch dem Nickelstahl (Seite 331) setzt man zur Erhöhung seiner Härte bisweilen Chrom zu.[2])

Der Einfluss, welchen ein Chromgehalt des Eisens auf dessen Sättigungsvermögen für Kohlenstoff ausübt, wurde schon auf Seite 291 besprochen.

Abscheidung des Chroms aus dem Eisen.

Die Abscheidung erfolgt unter oxydirenden Einflüssen in ähnlicher Weise wie die des Mangans. Im schmiedbaren Eisen, welches aus chromhaltigem Roheisen durch Frischen erzeugt wurde, pflegt daher nur ein geringer Theil des Chroms zurückzubleiben. Ein von mir untersuchtes Flusseisen (Thomaseisen), aus Roheisen mit 0,073 v. H. Chrom durch Frischen erzeugt, enthielt noch 0,013 v. H. Chrom; $^8/_{10}$ des ursprünglichen Chromgehalts waren demnach ausgeschieden.[3])

12. Eisen und Wolfram.

Aufnahme des Wolframs im Eisen.

Das Wolfram ist zwar ein ziemlich leicht reducirbares Metall, findet sich aber in Eisenerzen nur höchst selten, und daher enthält auch

1) Beispiele des Einflusses eines Chromgehalts auf die Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens sind in der dritten Abtheilung gegeben.

2) Näheres über die Eigenschaften der Nickelchromeisenlegirungen: „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 721.

3) „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 814. Versuche Rileys hierüber: Journal of the Iron and Steel Institute 1877 I p. 104.

das gewöhnliche, gewerblich dargestellte Roheisen oder schmiedbare Eisen kaum jemals Wolfram in solcher Menge, dass es von Bedeutung für das Verhalten des Eisens werden könnte. Dagegen stellt man unter Benutzung von Wolframerzen Wolframeisenlegirungen dar, um sie als Zusatz bei der Stahlerzeugung in Fällen zu benutzen, wo man dem Stahle einen besonders hohen Härtegrad verleihen will.

Schon im vorigen Jahrhunderte wurden durch die Gebrüder d'Elhuyar Legirungen des Wolframs mit Eisen und anderen Metallen erzeugt, ohne dass jedoch eine weitere Anwendung davon gemacht worden wäre;[1]) später untersuchte Berthier etwas eingehender die Eigenschaften dieser Legirungen;[2]) in grösserem Maassstabe werden sie zu dem erwähnten Zwecke seit etwa 1855 gewonnen.[3])

Man benutzt für die Herstellung der Eisenwolframlegirungen den natürlich vorkommenden Wolframit, dessen Zusammensetzung der Formel $Fe_2Mn_3W_5O_{20}$ entspricht, oder auch Scheelit von der Zusammensetzung $CaWO_4$. Das Erz wird zur Austreibung des Schwefels und Arsens geröstet, ausgelaugt und hierauf mit Kohle im Tiegel geschmolzen. Auch in französischen Hochöfen erzeugt man bisweilen solche Legirungen; der Bedarf daran ist jedoch selten so gross, um einen dauernden Hochofenbetrieb darauf zu ermöglichen.[4])

Von dem Mangangehalte des Wolframits geht ein Theil in die Legirung mit über, sofern man nicht zuvor eine Trennung der Metalle auf chemischem Wege vornimmt; in Rücksicht auf die nicht unerheblichen Kosten dieses Verfahrens sieht man häufig davon ab, und die aus jenem Erze erzeugten Legirungen enthalten alsdann neben Wolfram Mangan; mitunter ist ihr Mangangehalt sogar so beträchtlich, dass eine absichtliche Anreicherung stattgefunden zu haben scheint.

Mit dem Wolframgehalte steigt erheblich die Schmelztemperatur der Legirungen, und aus diesem Grunde stellt man durch reducirendes Schmelzen mit Kohle selten reichere Legirungen als mit 40 v. H. Wolfram dar. Beispiele der Zusammensetzung dieser Legirungen sind u. a.:

	Fe	W	Mn	C	P
Im Tiegel erzeugt, von mir untersucht:	67,93	29,12	Spur	1,17	nicht best.
„ Hochofen „ nach Kerpely:[4])	30,00	24,25	41,50	5,65	0,14

Der hohe Kohlenstoffgehalt der zweiten Legirung ist vermuthlich durch ihren hohen Mangangehalt bedingt.

Ausser diesen Legirungen benutzt man jedoch zu dem gleichen Zwecke auch kohlenstofffreies, fast reines Wolfram, welches durch Glühen reiner Wolframsäure im Wasserstoffstrom gewonnen wird. Da es in den gewöhnlichen Feuern unschmelzbar ist, kommt es pulverförmig in den Handel.

Einfluss des Wolframgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Legirungen mit hohem Wolframgehalte sind weiss, hart, spröde. Wie oben erwähnt wurde, beabsichtigt man durch den Zusatz des Wolf-

1) Histoire et mémoires de l'académie royale des sciences, inscriptions et belles lettres de Toulouse, 1784. Vol. 2, p. 141.

2) Traité des essais par la voie sèche, tome 2, p. 215 und 344.

3) Berg- und hüttenm. Ztg. 1859, Seite 275.

4) A. von Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1879, Seite 78.

rams zum Stahl dessen Härte über das Maass hinaus zu steigern, welches durch den Kohlenstoffgehalt allein erreichbar ist; sehr wolframreicher Stahl bedarf, wenn er zugleich kohlenstoffreich ist, nicht einmal einer künstlichen Härtung durch Ablöschen, um als Werkzeugstahl zur Bearbeitung sehr harter Gegenstände, z. B. von Hartgussstücken, benutzbar zu sein. Für diesen Zweck erzeugt man daher Wolframstahl mit 2 bis 5, vereinzelt bis zu 9 v. H. Wolfram. Ueber den Einfluss dieses Wolframgehaltes auf die Schmiedbarkeit, Schweissbarkeit und sonstigen, dem schmiedbaren Eisen eigenthümlichen Eigenschaften ist in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde Näheres mitgetheilt.

Die Festigkeit des Eisens wird durch einen mässigen Wolframgehalt gesteigert, durch einen höheren verringert, und in jedem Falle wächst die Sprödigkeit erheblich mit dem Wolframgehalte. Genaue Ermittelungen über diesen Einfluss fehlen noch, da die bislang geprüften Versuchsstücke neben Wolfram regelmässig auch einen ziemlich hohen und nicht immer gleichen Kohlenstoffgehalt besassen.

13. Eisen und Arsen oder Antimon.

Aufnahme der genannten Körper im Eisen.

Arsen und Antimon finden sich in kleinen Mengen in zahlreichen Eisenerzen; ein grosser Gehalt würde die Erze unbenutzbar für die Eisendarstellung machen. Werden die Erze reducirend geschmolzen, so wird der grösste Theil des Gehalts an jenen Körpern von dem entstehenden Eisen aufgenommen und begleitet dieses durch alle Abschnitte der Verarbeitung.[1] Eine Verschlackung des Arsens oder Antimons durch Kalkerde oder andere Körper (wie beim Schwefel) findet nicht statt; flüchtigen Arsenverbindungen entzieht metallisches Eisen mit Begierde ihren Arsengehalt. Selbst Dämpfe von arseniger Säure werden durch metallisches Eisen unter Bildung von Arseneisen und Eisenoxydul zersetzt. Eine Abscheidung des aufgenommenen Arsens aus dem Eisen aber ist nicht möglich.[2] Man findet daher in den meisten Eisensorten kleine Mengen Arsen, die zwar selten bedeutend genug sind, um für sich allein Einflüsse auf die Eigenschaften des Eisens auszuüben, indessen, wenn sie neben anderen, in gleicher oder ähnlicher Weise auf das Eisen wirkenden Körpern auftreten (Phosphor, Sauerstoff, Kupfer), deren Einwirkung verstärken können. Selten beträgt der Arsengehalt im gewerblich dargestellten Eisen mehr als 0,05 v. H., gewöhnlich weniger; auch der Antimongehalt erreicht nur ausnahmsweise jenes Maass.

Einflüsse auf das Verhalten des Eisens.

Ueber den Einfluss eines Antimongehalts liegen nur vereinzelte, zum grössten Theile aus älterer Zeit stammende Ermittelungen vor. Es ergiebt sich daraus, dass ein dem Eisen absichtlich zugesetzter Antimongehalt dieses hart, spröde, roth- und kaltbrüchig macht. Schon ein Gehalt

1) Ueber das Verhalten des Arsens beim Rösten der Erze vergleiche Seite 232.

2) Versuche von Pattinson und Stead über die Aufnahme des Arsens durch Eisen und die Möglichkeit der Abscheidung: Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, p. 171; daraus in „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 537.

von 0,1 v. H. soll deutliche Einwirkung üben, ein Gehalt von mehr als 1,0 v. H. das Eisen gänzlich unbrauchbar machen.[1])

Umfassender sind die Untersuchungen über den Einfluss des Arsengehalts. Auch dieser ist für die Brauchbarkeit des Eisens in keiner Beziehung günstig, aber man hat das Maass der Einwirkung früher oft überschätzt.

Ein hoher Arsengehalt erniedrigt die Schmelztemperatur, verringert die Aufnahmefähigkeit des Eisens für Kohlenstoff und erschwert die Graphitbildung. Er wirkt demnach ähnlich wie Schwefel.[2])

Die Festigkeit schmiedbaren Eisens wird nach Versuchen Steads[3]) durch einen Arsengehalt bis 4 v. H. gesteigert, aber das Metall ist bei diesem Gehalte sehr spröde. Eine Zunahme der Sprödigkeit zeigt sich bereits, wenn der Arsengehalt über 0,2 v. H. steigt. Weniger leidet die Schmiedbarkeit in Rothgluth; Eisen mit 4 v. H. Arsen war in Rothgluth gut schmiedbar.

Genauere Ermittelungen darüber, inwiefern der Einfluss des Arsengehaltes durch die Anwesenheit eines dritten Körpers (Kohlenstoff, Mangan) bedingt wird, fehlen noch. Die von Stead untersuchten Proben waren sämmtlich manganhaltig und meistens kohlenstoffarm.

14. Eisen und Zinn.

Aufnahme des Zinns im Eisen.

In den Eisenerzen tritt kaum jemals Zinn in bemerkbaren Mengen auf, und daher bleibt dieses Metall bei der Verhüttung der Eisenerze ohne Belang. Wohl aber kann durch Zufall Zinn in das Eisen geführt werden; durch Weissblechabfälle, welche zwischen das zur Aufarbeitung bestimmte Alteisen gerathen sind, durch emaillirte Kochgeschirre,[4]) oder in anderer Weise. Daher kann man im Eisen, welches durch Aufarbeitung von solchem Alteisen gewonnen wurde, insbesondere im Flusseisen (Martineisen), mitunter einen Zinngehalt entdecken, der jedoch nur selten den Betrag von 0,1 v. H. erreicht.

Einflüsse des Zinngehalts auf das Verhalten des Eisens.

Setzt man eine grössere Menge Zinn zu geschmolzenem Roheisen, so pflegt von dessen Kohlenstoffgehalte ein reichlicher Theil ausgeschieden zu werden; Zinn verringert demnach, wie Schwefel, Arsen und andere Körper, das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff.[5])

1) Einiges Nähere über die betreffenden Versuche: Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 1, Seite 314.

2) In gegossenen Kanonenkugeln aus Algier fand Berthier 9,8 v. H. Arsen, 1,5 v. H. Kohlenstoff ohne Schwefel, Mangan oder Kupfer; in einer andern Kugel sogar 27,0 v. H. Arsen neben 1,0 v. H. Kohlenstoff (Annales des mines 1837, p. 501). Ein in Percys Laboratorium untersuchtes Geschoss aus Sinope enthielt 16,20 Arsen (Wedding, Eisenhüttenkunde, 2 Auflage, Band 1, Seite 310). In allen Fällen war das Metall weiss, hart, spröde.

3) „Stahl und Eisen", 1895, Seite 653. Einiges Nähere in der dritten Abtheilung.

4) Weissbleche sind verzinnte Bleche; Email oder Glasschmelz enthält fast stets Zinnoxyd, welches durch den Kohlenstoffgehalt des Eisens reducirt werden kann.

5) Versuche Eyferths: Berg- und hüttenmännische Zeitung 1861, Seite 142; Versuche Rammelsbergs: dessen Handbuch der chemischen Metallurgie, 2. Auflage (1865), Seite 112.

Als Bestandtheil des schmiedbaren Eisens ist das Zinn in mehrfacher Beziehung unwillkommen. Es macht jenes hart, kalt- und rothbrüchig. Eisen mit 0,73 v. H. Zinn neben 0,06 v. H. Kohlenstoff, welches Billings untersuchte, war vollständig unschmiedbar und spröde. Kaum ein anderes Metall übt nach Billings so schädliche Einflüsse.[1]) Auch ältere Versuche über die Einwirkung des Zinns lassen den Schluss zu, dass schon kleine Mengen davon das Verhalten des Eisens schädigen können.[2])

15. Eisen und Zink oder Wismuth.

Aufnahme der genannten Metalle im Eisen.

Wie schon auf Seite 268 erwähnt wurde, ist die Aufnahmefähigkeit des Eisens für Zink und Wismuth beschränkt.

Zink bildet einen häufigen Begleiter der Eisenerze; mitunter ist nur die Höhe des Zinkgehalts entscheidend, ob man das Erz zweckmässiger als Eisen- oder als Zinkerz verwerthet (Oberschlesien). Bei der Verhüttung zinkhaltiger Eisenerze in hoher Temperatur und unter stark reducirenden Einflüssen (Hochofenschmelzen) wird zwar das Zink ziemlich vollständig reducirt, aber das geringe Vereinigungsbestreben des Eisens zum Zink und die Flüchtigkeit des Zinks in hohen Temperaturen bewirken, dass das reducirte Zink in jenem Falle mit dem Gasstrome davongeführt wird, um dann später bei der Berührung mit oxydirenden Gasen — freiem Sauerstoff, Wasserdampf oder Kohlensäure — wieder zu Zinkoxyd oxydirt zu werden. In den Eisenhochöfen, welche zinkische Erze verhütten, setzt sich dieses Zinkoxyd, vermischt mit kleineren Mengen metallischen Zinks und fremden Körpern, zum Theile in dem oberen kälteren Theile des Ofenschachts ringsherum an den Wänden in immer dicker werdender Schicht fest und bildet hier den sogenannten Gichtschwamm, welcher von Zeit zu Zeit losgebrochen werden muss, damit er nicht eine Verstopfung des Ofens herbeiführe, und dann auf den Zinkhütten auf Zink verarbeitet wird. Näheres hierüber in der zweiten Abtheilung der Eisenhüttenkunde.

In dem Eisen, welches aus zinkhaltigen Erzen erzeugt wurde, ist kaum jemals mehr als eine Spur Zink gefunden worden. Ein von mir untersuchtes graues Roheisen eines westfälischen Kokshochofens enthielt zwar eine deutliche Spur Zink; weisses, aus zinkreichen Erzen erblasenes Roheisen eines oberschlesischen Hochofens war dagegen gänzlich zinkfrei, während die daneben gefallene Schlacke 0,03 v. H. Zinkoxyd enthielt. Versuche, den Zinkgehalt des zuerst erwähnten grauen Roheisens durch Zusatz zum geschmolzenen Metalle anzureichern, hatten sehr unbedeutenden Erfolg; das Zink verdampfte und das erstarrte Metall enthielt nur 0,029 v. H. Zink.[3])

Kleinere Mengen Eisen werden dagegen von grösseren Mengen Zink ohne Schwierigkeit gelöst. Auf dem Boden eiserner Kessel, in

1) Dinglers polyt. Journal, Band 228, Seite 427.

2) Ausführlichere Mittheilungen über diese älteren Versuche enthält Weddings Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 1, Seite 367.

3) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 812.

welchen Zink längere Zeit flüssig erhalten wird, bildet sich eine Legirung, deren Schmelzpunkt höher liegt als der des Zinks, und welche von Zeit zu Zeit entfernt werden muss, damit sie nicht die Wärmeübertragung an das Zink hindere. Sie besitzt grauweisse Farbe, ein grossblättriges Gefüge und pflegt neben Zink etwa 4 v. H. Eisen und kleinere Mengen Kohlenstoff zu enthalten. Eine derartige von mir untersuchte Legirung enthielt in Hunderttheilen:

Fe	C	Zn
4,03	0,33	95,64.

Auch beim Läutern des Zinks, indem man es lange Zeit flüssig erhält, scheiden sich mitunter ähnliche Legirungen ab. Eine solche Legirung, zwischen ausgeschiedenem Blei und dem reineren Zink abgelagert, von Rosamundenhütte stammend und von mir untersucht, enthielt 6,33 v. H. Eisen, daneben Spuren von Blei und Schwefel. Sie war feinkörnig, grauweiss.

Wismuth findet sich weit seltener in Eisenerzen; ziemlich spärlich sind daher auch die Beobachtungen über das Verhalten des Wismuths bei Verhüttung wismuthhaltiger Erze. Lundström beobachtete, dass in einem schwedischen Hochofen metallisches Wismuth zum Theil in die Ofenwände eingedrungen, zum andern Theil mit dem Zink dampfförmig darin geführt worden war und in dem oben erwähnten Gichtschwamm sich abgelagert hatte, während das erzeugte Eisen ganz frei von Wismuth war.[1]) Das Wismuth verhält sich demnach bei der Verhüttung der Erze ziemlich genau so wie das Zink.

Auch durch Zusatz von Wismuth zu geschmolzenem Eisen ist es nicht gelungen, diesem einigermaassen erhebliche Mengen davon zuzuführen; nur Spuren von Wismuth, im höchsten Falle 0,08 v. H., wurden im Eisen gefunden.[2])

Einfluss auf die Eigenschaften des Eisens.

In Anbetracht der geringen Aufnahmefähigkeit des Eisens für die in Rede stehenden Metalle kann auch deren Einfluss nicht erheblich sein. Nach Billings sollen kleine Mengen Zink von schmiedbarem Eisen aufgenommen werden können und dieses rothbrüchig machen; ebenso soll sich Wismuth gegen Eisen verhalten.[3])

16. Eisen und Aluminium.

Beim Schmelzen von thonerdehaltigen Eisenerzen im Hochofen wird auch unter stark reducirenden Einflüssen Aluminium nicht reducirt. Wenn mitunter Analysen von Roheisen veröffentlicht worden sind, in welchen man Aluminium zu finden geglaubt hatte, so darf man neueren Beobachtungen gemäss annehmen, dass hier Analysenfehler vor-

1) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 167; aus Jernkontorets Annaler 1890, Heft 5.

2) Die Angabe rührt von Karsten her und ist in dessen Eisenhüttenkunde, welche in 3. Auflage im Jahre 1891 erschien, enthalten. In Rücksicht auf die geringere Zuverlässigkeit der früheren Untersuchungsverfahren sind Zweifel an der Zuverlässigkeit der Ziffer wohl gestattet.

3) Dinglers polyt. Journal, Band 228, Seite 427.

lagen, welche um so leichter auftreten können, da es für die zuverlässige Bestimmung kleiner Mengen Aluminium neben viel Eisen bis vor Kurzem kein ganz zuverlässiges Verfahren gab, auch Roheisen nicht selten thonerdehaltige Schlacke eingeschlossen enthält. Mir selbst ist es niemals gelungen, Aluminium im Roheisen aufzufinden, selbst dann nicht, wenn es von anderer Seite als aluminiumhaltig bezeichnet worden war. Dagegen erhielt Mrázek beim Schmelzen von Eisendraht mit Kryolith ($Na_6 Al_2 F_{12}$), Quarz und Natrium eine Legirung, welche in Hunderttheilen

Fe	Al	Si	C
91,59	2,30	5,95	0,16

enthielt, und durch Zusammenschmelzen beider Metalle oder durch Anwendung des elektrischen Stromes bei der Reduction durch Kohle lassen sich Legirungen in beliebigen Gewichtsverhältnissen erzeugen. Sie sind, wie schon Deville[1]) fand, bei grösserem Aluminiumgehalte hart, spröde und krystallisiren in Nadeln. Bei oxydirendem Schmelzen wird das Aluminium rasch verbrannt und ausgeschieden.[2])

Ein geringer Aluminiumgehalt (weniger als 2 v. H.) steigert die Festigkeit des Eisens unter Verminderung der Zähigkeit. Diese Verminderung ist unbedeutend, aber immerhin merklich, wenn der Aluminiumgehalt nicht über 0,1 v. H. beträgt, nimmt indess rasch zu, wenn der Aluminiumgehalt steigt.[2])

Häufige Anwendung findet ein Aluminiumzusatz bei der Flusseisenerzeugung zur Zerstörung des gelösten Eisenoxyduls und Ausscheidung des Sauerstoffs. In Rücksicht aber auf die Erhöhung der Sprödigkeit, welche ein im Eisen zurückbleibender Aluminiumgehalt hervorruft, muss jener Zusatz derartig bemessen werden, dass er eben ausreichend ist, die Sauerstoffausscheidung zu bewirken, ohne einen erheblichen Ueberschuss zu hinterlassen. Näheres hierüber in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen Aluminiumgehalt nicht oder doch nur unbedeutend erniedrigt. Osmond fand als Schmelztemperatur einer Eisenaluminiumlegirung mit 5,08 v. H. Aluminium, 0,15 v. H. Kohle, 0,20 v. H. Silicium 1475° C., also nahe der des reinen Eisens (1500° C.), obgleich auch der anwesende Silicium- und Kohlenstoffgehalt zur Erniedrigung der Schmelztemperatur beitragen mussten.[3])

Die Dünnflüssigkeit des Eisens wird durch einen Aluminiumgehalt verringert; Eisen mit 0,5 v. H. Aluminium ist auch bei starker Ueberhitzung dickflüssig.

Die Schmiedbarkeit des Eisens hört bei einem Aluminiumgehalte von etwas über 5 v. H. auf.[4])

Die Einflüsse eines Aluminiumgehalts auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff und auf die Kohlenstoffformen sind bereits oben (Seite 292, 295) ausführlicher besprochen worden.

1) H. Sainte Claire-Deville, De l'aluminium, ses propriétés, sa fabrication et ses applications. Paris 1859, p. 40.

2) Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 189 (Hadfield).

3) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 637; auch Journal of the Iron and Steel Institute 1890 II, p. 161.

4) Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 177.

17. Eisen und Titan, Vanadium.

Reduction und Aufnahme der genannten Körper im Eisen.

Der grössere Theil der in manchen Eisenerzen enthaltenen Titansäure geht wegen der Schwerreducirbarkeit des Titans bei der Verhüttung der Erze in die Schlacke, ein geringerer Theil kann vom Eisen aufgenommen werden. In Roheisensorten lässt sich daher ziemlich häufig ein Titangehalt bis 0,2 v. H. nachweisen, selten jedoch mehr.[1]) Eine Verbindung des Titans mit Kohlenstoff und Stickstoff, Cyanstickstofftitan genannt und in kupferrothen Würfeln krystallisirt, findet man nicht selten in Eisenhochöfen nach dem Ausblasen, eingesprengt in den mit Schlacke durchsetzten Eisenklumpen, den „Sauen", welche am Boden des Ofens zurückbleiben. Nach Wöhlers Untersuchung[2]) besteht diese Verbindung aus Cyanstickstofftitan von der Formel Ti_5CN_4, und nach Zincken ist sie in sehr hoher Temperatur flüchtig. Auch im Roheisen und Eisenmangan hat man nach dem Auflösen in Säuren die gleiche Verbindung als Rückstand gefunden.[3]) Durch reducirendes Schmelzen von Titansäure mit Eisen oder Eisenoxyden und Kohle im Tiegel ist es nur in einzelnen Fällen geglückt, Eisen mit grösserem Titangehalte darzustellen. Sefström erhielt in einem derartigen Falle ein sehr hartes, aber schmiedbares Eisen mit 4,78 v. H. Titan. Durch Schmelzen von Titansäure mit Kohle im elektrischen Ofen lässt sich nach Moissan[4]) kohlenstoffhaltiges, aber übrigens reines Titan darstellen, dessen Kohlenstoffgehalt mindestens 2,0 v. H. zu betragen pflegt und bis 20,0 v. H. steigen kann. Letzterer Gehalt entspricht der Zusammensetzung eines Karbids von der Formel TiC. Solches kohlenstoffhaltiges Titan ist sehr hart und löst sich leicht in geschmolzenem Eisen. Versuchsweise hat man es neuerdings als Zusatz bei der Stahlbereitung benutzt.

Vanadium findet sich mitunter, und zwar in kleinen Mengen ziemlich häufig, in Roheisen, welches aus vanadiumhaltigen Erzen erblasen worden war. Bohnerze und manche Magneteisenerze enthalten nicht selten Vanadium, daneben meistens Chrom, und von beiden Metallen geht dann beim reducirenden Schmelzen im Hochofen leicht ein Theil in das erfolgende Roheisen über. Selten steigt jedoch der Gehalt des Roheisens an Vanadium über 0,20 v. H., meistens ist er geringer,[5]) und bei der Untersuchung des Roheisens wird er leicht übersehen, wenn man nicht besonders darauf prüft. Durch Anwendung von Aluminium als Reductionsmittel erzeugte Hélouis Vanadiumeisenlegirungen mit höherem Vanadiumgehalte und benutzte sie versuchsweise als Zusatz beim Stahlschmelzen.[6]) Der hohe Preis des Vanadiums macht es unwahrscheinlich, dass je eine umfänglichere Verwendung davon gemacht werden könnte.

1) Beispiele titanhaltigen Roheisens: „Stahl und Eisen" 1894, Seite 812.
2) Dinglers polyt. Journal, Band 115, Seite 75.
3) Engineering and Mining Journal, vol. 56, p. 664 (Hogg).
4) Annales de chimie et de physique, sér. 7, t. 9 (1896), p. 229.
5) Beispiele vanadiumhaltigen Roheisens: „Stahl und Eisen" 1894, Seite 813; 1896 Seite 615.
6) Bulletin de la Société d'encouragement 1896, p. 904; daraus in „Stahl und Eisen" 1896, Seite 615.

Einfluss auf die Eigenschaften des Eisens.

Dass ein Titangehalt die Härte des Eisens erhöhe, wurde bereits erwähnt; unentschieden bleibt hierbei noch die Frage, ob dieser Einfluss unmittelbar stattfinde oder, wie der Einfluss des Chromgehalts, durch Vermehrung des Gehalts an Härtungskohle.

Vanadium steigert den bisher vorliegenden Ermittelungen zufolge in mässigem Grade die Festigkeit, ohne die Zähigkeit erheblich zu schädigen.

Abscheidung aus dem Eisen.

Durch oxydirende Einflüsse werden beide in Rede stehende Metalle aus dem Eisen abgeschieden, Titan noch leichter als Vanadium. Im schmiedbaren Eisen ist daher Titan nie oder nur höchst selten nachgewiesen worden, während Vanadium in kleinen Mengen nicht selten zugegen ist. Im Taberger Schmiedeeisen wurde das Vanadium zuerst durch Sefström entdeckt. Ein von mir untersuchtes Flusseisen, aus Roheisen mit 0,072 v. H. Vanadium erzeugt, enthielt noch 0,001 v. H. Vanadium.[1])

18. Eisen und Blei nebst Silber.

Blei findet sich nicht selten in Eisenerzen und wird mit dem Eisen reducirt. Dass jedoch das Blei sich schwierig mit dem Eisen vereinige, wurde schon früher erwähnt. Die Folge davon ist, dass das reducirte Blei sich vermöge seines grösseren specifischen Gewichts von dem Eisen sondert und getrennt von diesem gewonnen werden kann, welches Verfahren beim Hochofenbetriebe nicht selten in Anwendung ist (Näheres in der zweiten Abtheilung der Eisenhüttenkunde). Häufig enthält das Blei Silber, welches sich ebenfalls schwierig mit dem Eisen, sehr leicht dagegen mit dem Blei vereinigt und mit diesem gemeinschaftlich gewonnen werden kann.

In einem aus bleiischen Erzen mit Koks erzeugten weissen Roheisen wurden von mir 0,002 v. H. Blei, in einem grauen Holzkohlenroheisen 0,005 v. H. Blei gefunden. Der Versuch, in einem bleifreien Roheisen Blei aufzulösen, missglückte dagegen gänzlich; das erstarrte Metall enthielt keine Spur Blei.[2]) Bei dieser geringen Aufnahmefähigkeit des Eisens für Blei sind auch keine wahrnehmbaren Einflüsse von dessen Anwesenheit zu erwarten.

Der höchste Silbergehalt, welchen Eisen aufzunehmen vermag, beträgt nach Versuchen von Faraday und Stodart 0,2 v. H., ohne dass dieser Gehalt die Eigenschaften des Eisens in bemerkbarer Weise zu beeinflussen vermag;[3]) ist zugleich Blei zugegen, so entzieht dieses, wie erwähnt, das Silber dem Eisen. In einem aus Spatheisenerzen mit Koks erblasenem Roheisen wurde von mir 0,0018 v. H. Silber gefunden; ein grösserer Silbergehalt (0,03 v. H.) war in die auf der Oberfläche des Roheisens schwimmenden „Wanzen“ übergegangen.[4])

1) „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 814.
2) „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 813.
3) Philosophical Transactions 1822, p. 255.
4) Die vollständige Zusammensetzung dieser „Wanzen“ ist auf Seite 324 unter II mitgetheilt.

19. Eisen und Gold, Platin, Osmium, Iridium, Palladium.

Mit den in der Ueberschrift genannten Metallen lässt sich das Eisen in allen Gewichtsverhältnissen vereinigen, aber der hohe Preis jener Metalle schliesst von vorn herein jede Verwendung der Legirungen im Grossbetriebe aus. Im gewerblich dargestellten Eisen mögen bisweilen sehr kleine Mengen der in Rede stehenden Metalle vorkommen, aber sie entgehen in der Regel der Beachtung. Ein in der Sammlung der Freiberger Bergakademie befindliches Probestück eines zu Jekatarinenburg erzeugten Roheisens enthält 0,001 v. H. Gold.[1])

20. Eisen und Molybdän, Bor.

Sehr kleine Mengen von Molybdän sind mitunter im Eisen nachweisbar,[2]) ohne in bemerkbarer Weise auf dessen Eigenschaften einzuwirken. Vereinzelt hat man bei der Stahlerzeugung Versuche gemacht, durch Zusatz metallischen Molybdäns statt des Wolframs (Seite 334) die Härte des Stahls zu erhöhen;[3]) über den Erfolg ist nichts Näheres bekannt geworden.

Bor ist ein schwer reducirbarer Körper und in dem gewöhnlichen Eisen bislang nicht nachgewiesen. Versuche über den Einfluss des dem geschmolzenen Eisen zugesetzten Bors haben gezeigt, dass letzteres leicht vom Eisen aufgenommen wird und dessen Sättigungsvermögen für Kohlenstoff stark abmindert. Aus geschmolzenem Roheisen vermag nach Versuchen von Moissan[4]) Bor die grösste Menge des Kohlenstoffgehalts zur Ausscheidung zu bringen, wenn es in genügender Menge zugesetzt wird. Ein Borgehalt im schmiedbaren Eisen erhöht dessen Festigkeit auf Kosten der Zähigkeit und verringert die Härtungsfähigkeit.[5])

21. Eisen und Calcium, Magnesium, Barium, Strontium, Kalium, Natrium.

Calcium und Magnesium legiren sich nicht mit dem Eisen. Weder Gay-Lussac, noch Thenard gelang es, calciumhaltiges Eisen darzustellen.[6]) Auch magnesiumhaltiges Eisen ist bis jetzt unbekannt. Man darf annehmen, dass, wo diese Metalle im Eisen gefunden wurden, sie nicht Bestandtheile des Eisens, sondern der dem Eisen beigemengten Schlacke bildeten, oder dass sie bei der Untersuchung aus den benutzten Reagentien oder den Filtern in die Lösungen geführt wurden.[7]) Ebenso wie Calcium und Magnesium verhalten sich Barium und Strontium.

Kalium und Natrium sind zwar aus ihren Carbonaten durch Kohle reducirbar, und dass Kalium vom glühenden Eisen aufgenommen

1) Näheres über die mit den betreffenden Legirungen des Eisens angestellten Versuche enthält Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 1, Seite 404.

2) Beispiel: „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 482.

3) „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 717.

4) Comptes rendus, t. 119 (1894), p. 1172.

5) Versuche von Moissan und Charpy: Comptes rendus, t. 120 (1895) p. 130; daraus in „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 462.

6) Recherches physico-chimiques t. 1, p. 106; daraus in Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 1, Seite 414.

7) Manche Filtrirpapiere sind reich an Kalkerde, und mancher vermeintlich im Eisen gefundene Calciumgehalt entstammt unzweifelhaft dieser Quelle.

werden könne, wollen einige Chemiker[1]) nachgewiesen haben; dennoch ist es bei der Flüchtigkeit beider Metalle in hoher Temperatur und der Schwierigkeit, kleine Mengen davon neben viel Eisen mit Sicherheit nachzuweisen, zweifelhaft, ob auch das geschmolzene Eisen Kalium oder Natrium enthalten kann. Fresenius will in einem Roheisen 0,06 v. H. Kalium neben Spuren Natrium gefunden haben; mir selbst ist bei sorgfältiger Untersuchung es nicht gelungen, auch nur Spuren davon nachzuweisen.[2]) Jedenfalls sind die beiden Metalle bedeutungslos für das Verhalten des Eisens.

22. Eisen und Wasserstoff.

Eisen vermag unter verschiedenen Verhältnissen Wasserstoff aufzunehmen, ihn zu lösen, so dass dieser wie jeder andere gelöste Bestandtheil in dem flüssigen Eisen flüssig, in dem festen Eisen fest ist, und schon sehr kleine Mengen solchen aufgenommenen Wasserstoffs beeinflussen deutlich das Verhalten des Eisens.

Beim Ausfällen von Eisen durch den galvanischen Strom aus einer mit Ammoniak neutralisirten Eisenchlorürlösung erhielt Cailletet[3]) glänzende Eisenflitterchen, welche so hart waren, dass sie Glas ritzten. Die Untersuchung ergab einen Wasserstoffgehalt von 0,028 v. H. des Eisengewichts.[4]) Beim Lagern in Wasser entwich Wasserstoff; heftige Gasentwickelung trat in erwärmtem Wasser (60—70 ° C.) ein; auch unter der Luftpumpe liess sich dem Eisen ein grosser Theil seines Wasserstoffgehalts entziehen. Das vorher spröde Eisen wurde geschmeidig, wenn sein Wasserstoffgehalt ausgeschieden war.

Behandelt man Eisen mit verdünnter Schwefelsäure oder Chlorwasserstoffsäure, wobei Wasserstoffentwickelung stattfindet, so vermag das Eisen ebenfalls Wasserstoff aufzunehmen, wie zuerst von Johnson,[5]) später von Hughes,[6]) Bädecker[7]) und mir[8]) beobachtet worden ist. Ich fand in derartig behandelten Eisendrähten 0,0021 bis 0,0052 v. H. Wasserstoff. Durch diese Aufnahme von Wasserstoff verliert das Metall an Biegungsfähigkeit, es wird spröder. Der Einfluss ist deutlicher an dünnen als an dicken Gegenständen, deutlicher bei Stahl als bei Schmiede-

1) Gay-Lussac und Thénard; Calvert und Johnson. Näheres in Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 1, Seite 413.

2) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 814.

3) Comptes rendus, vol. 80, p. 319.

4) Gewöhnlich findet man den Wasserstoffgehalt des Metalls nicht nach dem Gewichte, sondern nach dem Rauminhalte des gasförmigen Wasserstoffs angegeben. Man erhält hierbei weit grössere Zahlen; jene gefundenen 0,028 v. H. Wasserstoff nehmen im gasförmigen Zustande fast den 300fachen Rauminhalt des festen Eisens ein, mit dem sie vereinigt waren. Da der gefundene Wasserstoffgehalt jedoch in dem Eisen nicht als Gas, sondern in wirklicher Vereinigung zugegen war, kann dieses Verfahren nicht gebilligt werden; es ist ebenso wenig folgerichtig, als wenn man den Sauerstoffgehalt des Eisenoxyds, der Kieselsäure u. s. w. nach dem Rauminhalte, welchen der gasförmige Sauerstoff einnimmt, angeben wollte.

5) Proceedings Royal Society, vol. 23, 168 (1875).

6) Journal Society Telegraph Engineers 1880, p. 163; auch Scientific American, vol. 42, p. 362.

7) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, Seite 186.

8) „Stahl und Eisen" 1887, Seite 681; 1889, Seite 745.

eisen und am wenigsten bei Gusseisen bemerkbar. Federn aus Stahl, welche ungebeizt starke Biegsamkeit und Spannkraft besitzen, zerspringen unter der gleichen Beanspruchung als zuvor, wenn sie mit jenen Säuren gebeizt wurden; Drähte, welche zahlreiche Biegungen ertrugen, zerbrechen nach dem Beizen bei einer der ersten Biegungen. Einige der erlangten Versuchsergebnisse werden in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde mitgetheilt werden. Lässt man solches Eisen längere Zeit an trockener Luft lagern, so nimmt es seine ursprünglichen Festigkeitseigenschaften wieder an; rascher lässt sich das gleiche Ziel durch Erhitzung der gebeizten Stücke erreichen. In beiden Fällen tritt der aufgenommene Wasserstoff in Gasform wieder aus.

Obgleich nun der im galvanisch erzeugten Eisen wie im gebeizten Eisen anwesende Wasserstoff beim Erhitzen des Eisens verschwindet, vermag doch auch geschmolzenes Eisen Wasserstoff in Lösung zu nehmen, wenn es mit ihm in dem Augenblicke, wo er entsteht, in Berührung tritt.[1]) Die Gelegenheit dazu ist häufig gegeben. Alle atmosphärische Luft, alle Verbrennungsgase enthalten Wasserdampf, welcher unter Wasserstoffbildung zerlegt wird, wenn er mit flüssigem Eisen oder mit weissglühenden Kohlen in Berührung tritt.

Die Menge des Wasserstoffs, welche vom geschmolzenen Eisen gelöst werden kann, ist beträchtlich. Sie hängt von dem Gasdrucke, unter welchem das flüssige Metall sich befindet, und von der chemischen Zusammensetzung des Eisens ab. Leider sind die bisherigen Untersuchungen über diesen Einfluss der chemischen Zusammensetzung des Eisens auf sein Lösungsvermögen für Wasserstoff spärlich, was sich zur Genüge aus der Schwierigkeit erklärt, mit welcher derartige Untersuchungen verknüpft sind. Ein reichlicher Mangangehalt erhöht den Beobachtungen im Betriebe zufolge die Löslichkeit des Wasserstoffs, Kohlenstoff verringert sie.

Wenn nun solches flüssiges Eisen, welches im Schmelzofen Wasserstoff aufgenommen hatte, den Schmelzofen verlässt, so nimmt ein Theil dieses gelösten Wasserstoffs wieder Gasform an und entweicht theils infolge der stattfindenden Bewegung und der dabei stets erneuerten Berührung mit festen Körpern (den Wänden der Gussrinne, Giesspfanne u. a.), theils auch infolge der beginnenden Erstarrung und in einzelnen Fällen der Verminderung des auf dem Metalle lastenden Gasdrucks.[2])

1) Parry fand, dass auch Wasserstoff, der nicht erst im Entstehungszustande sich befindet, von flüssigem Eisen gelöst werden könne (Journal of the Iron and Steel Institute 1874, I, p. 92). Dass jedoch der entstehende Wasserstoff leichter und reichlicher vom Eisen aufgenommen werde, als schon vorhandener, unterliegt keinem Zweifel.

2) Dass Gase aus Flüssigkeiten, in welchen sie gelöst waren (z. B. Kohlensäure aus Wasser), leichter entweichen, wenn die Flüssigkeit in Bewegung gesetzt wird (z. B. durch Rühren), als wenn sie ruhig steht, ist eine Thatsache, welche sich auch im gewöhnlichen Leben täglich beobachten lässt. Ebenso das Entweichen der Gase aus Flüssigkeiten bei der Berührung mit festen Körpern. An den Wänden eines mit kohlensäurehaltigem Wasser gefüllten Glases, an einem eingebrachten Löffel sieht man die stärkste Gasentwickelung; bringt man aber einen Körper mit sehr grosser Oberfläche, z. B. ein Pulver, hinein, so kann die Gasentwickelung bis zum Ueberschäumen sich steigern. Ein solches Ueberschäumen tritt bekanntlich auch ein, wenn man eine aus kohlensäurehaltigem Wasser gefüllte Flasche rasch entkorkt und dadurch den auf der Flüssigkeit lastenden Druck stark vermindert.

So lange das Eisen noch vollständig dünnflüssig ist, sieht man seine Oberfläche mit einer brennenden Gasschicht von geringer Leuchtkraft bedeckt; wird es dickflüssiger, so beginnt es Funken zu werfen, welche aus den vom entweichenden Gase emporgeschleuderten Metalltheilchen bestehen. Durchläuft es, bevor es starr wird, einen teigartigen Zustand (schmiedbares Eisen), so bläht es sich, wenn seine Oberfläche frei liegt, stark auf; schliesslich bilden sich, wenn das Austreten des aus dem Metalle entlassenen Gases nicht mehr möglich ist, Blasen in dem erstarrenden Metalle, theils mikroskopisch klein, theils von ansehnlicher Grösse, welche mit dem Gase angefüllt sind. Müller fand, indem er durch Anbohren des Eisens unter ausgekochtem Wasser jenes eingeschlossene Gas befreite und sammelte,[1]) unter anderen nachstehende Zusammensetzung in Raumtheilen:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wasserstoff . . .	90,3	81,9	88,8	77,0	92.4	73,4	67.0	52,1	62,2
Stickstoff	9,7	18.1	10.5	23,0	5.9	25,3	30,8	44.0	35,5
Kohlenoxyd . . .	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	1,3	2,2	3,9	2,8

1. Bessemerschienenstahl.
2. Bessemerstahl zu Federn.
3. Bessemerschienenstahl vor Zusatz von Spiegeleisen.
4. Derselbe Stahl nach Zusatz von Spiegeleisen.
5. Dichter Stahl vor dem Schmieden.
6. Dichter Stahl nach dem Schmieden, wobei sich die Gasmenge, wie oben erwähnt, verringert hatte.
7. Martineisen von Bochum.
8. Englisches Hämatitroheisen (manganarm).
9. Roheisen von Georgs-Marienhütte (manganhaltig).

Aehnliche Versuchsergebnisse erhielt Stead.[2]) Auch für die Heftigkeit jener Entwickelung von Wasserstoff aus dem flüssigen Metalle ist neben der Menge des überhaupt gelöst gewesenen Wasserstoffs zum Theil die chemische Zusammensetzung des Metalls von Bedeutung. Gewisse, in der dritten Abtheilung (Eigenschaften des Flusseisens) besprochene Erscheinungen im Betriebe lassen z. B. schliessen, dass ein Siliciumgehalt des Eisens das Austreten des gelösten Wasserstoffs erschwere; bestimmte Ermittelungen hierüber fehlen.

Selbst das bereits starre, noch glühende Metall entlässt jedoch noch Wasserstoffgas. Den Beweis dafür liefert der Umstand, dass jene von Müller und Stead durch Anbohren des Eisens befreiten Gase unter Druck eingeschlossen gewesen waren und nach dem Austreten einen grösseren Raum einnahmen, als der Grösse des Bohrlochs entsprach. Müller berechnete diesen Druck im erkalteten Eisen zu 3 bis 8 Atmosphären; erwägt man aber, dass die Gase in gewöhnlicher Temperatur nur ungefähr ein Fünftel des Raumes einnehmen als in der Erstarrungstemperatur des Eisens, so folgt, dass statt des gefundenen Ueberdrucks eine Luftverdünnung geherrscht haben müsste, wenn die untersuchten Gase sämmtlich aus dem flüssigen Metalle ausgetreten wären. Der entstandene Blasenraum würde entsprechend grösser ausgefallen sein.

1) Näheres hierüber in Müllers unter Litteratur genannten Abhandlungen.
2) Iron. vol. 17, p. 414.

Auch in geschlossenen engen Räumen, in welche gegossene, noch glühende Eisenblöcke eingestellt werden (Durchweichungsgruben; vergleiche Abtheilung 3), pflegen nach dem Herausnehmen der Blöcke reichliche Mengen von Wasserstoffgas anwesend zu sein. Pattinson und Stead[1]) fanden nachstehende Zusammensetzung solcher Gase in Raumtheilen:

Stickstoff	62,92	69,65
Wasserstoff	25,16	18,62
Kohlenoxyd	7,95	6,90
Kohlensäure	3,97	4,83
Sauerstoff	0,00	0,00

Da Sauerstoff gänzlich fehlt, lässt sich folgern, dass der Sauerstoffgehalt der in dem Raume eingeschlossen gewesenen Luft zunächst zur Verbrennung von austretendem Wasserstoff verbraucht worden und dass demnach das Verhältniss des ursprünglich vorhandenen Wasserstoffs zu den übrigen Gasen noch beträchtlicher gewesen sei, als jene Ziffern angeben.

Auch eine von Finkener angestellte Untersuchung der Gase, welche der Höhlung eines eisernen, aus einem vollen Flusseisenblocke gewalzten und bis zur Vollendung an beiden Enden geschlossen gewesenen Mannesmann-Rohrs entnommen wurden, liess darauf schliessen; die Gase enthielten 99 v. H. Raumtheile Wasserstoffgas.[2])

Aus dem Umstande, dass ein grosser Mangangehalt die Aufnahme von Wasserstoff durch das geschmolzene Metall befördert, ein Kohlenstoffgehalt sie erschwert, ein Siliciumgehalt aber das Austreten des gelösten Wasserstoffs verhindert, erklärt sich, dass graues manganarmes, aber siliciumreiches Roheisen nur geringe Mengen von Wasserstoff zu entwickeln pflegt, manganreiches Roheisen (Spiegeleisen) reichliche Mengen, und dass auch das kohlenstoff- und siliciumarme Flusseisen starke Gasentwickelung zeigen kann. Jene Blasen im Innern des erstarrten Metalls aber, welche durch eingeschlossenes Gas gebildet werden, sind am stärksten beim Flusseisen bemerkbar, welches allmählich aus dem flüssigen Zustande in den festen Zustand übergeht und in diesem teigigen Uebergangszustande die Gasblasen zurückhält; häufig finden sie sich auch in dem verhältnissmässig kohlenstoffarmen, seiner Zusammensetzung nach dem Stahle nahe stehenden Roheisen, welches ebenfalls einen dickflüssigen, breiartigen Zustand durchläuft, bevor es erstarrt; selten im silicium- oder manganreichen Roheisen, welches dünnflüssig bleibt, bis plötzlich die Erstarrung eintritt und hierdurch die Möglichkeit abgeschnitten wird, dass Gasblasen sich bilden können.

Müller fand in verschiedenen Eisensorten folgende Gasmengen, auf den Rauminhalt des Eisens bezogen, aus dem sie durch Anbohren in der erwähnten Weise befreit worden waren:[3])

1) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1882 in „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 499.

2) Mittheilungen der königlichen technischen Versuchsanstalt zu Berlin 1889, Seite 41; daraus in „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 335.

3) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Band 23, Seite 493; „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 537.

bei einem siliciumreichen, manganarmen Roheisen (englischen Hämatitroheisen) . . .	3,5	v. H.	von dem Rauminhalte des Eisens.
bei verschiedenen manganreicheren Roheisensorten (Bessemerroheisen)	10—35	„ „	
bei verschiedenen Sorten Flusseisen und Flussstahl (vom Bessemer- und Martinverfahren) ungeschmiedet	14—60	„ „	
bei geschmiedetem Flussstahl, welcher im ungeschmiedeten Zustande in zwei Proben 14 und 17 Hunderttheile Gas ergeben hatte	5,5	„ „	

In allen Fällen bestand das Gasgemisch vorzugsweise aus Wasserstoff neben geringeren Mengen Stickstoff und bisweilen Kohlenoxyd.

Troost und Hautefeuille, welche Eisencylinder von je 500 g Gewicht bei einer Temperatur von 800° C. im luftleeren Raume 190 Stunden lang glühten, um ihnen die eingeschlossenen Gase zu entziehen,[1]) erhielten

aus manganreichem, siliciumarmem Roheisen (Spiegeleisen) 29,5 cc Gas mit 27 cc Wasserstoff;

aus manganärmerem, siliciumreicherem Roheisen (Holzkohlengusseisen) 16,7 cc Gas mit 12,3 cc Wasserstoff;

aus geschmiedetem Tiegelstahl dagegen nur 2,20 cc Gas mit 0,50 cc Wasserstoff.

Beim Schmieden des Stahls ist das in Hohlräumen eingeschlossen gewesene Gas offenbar entwichen.

Dass aber von jenem Wasserstoffgehalte, welchen das flüssige Eisen in Lösung nimmt und welcher theils vor dem Erstarren, theils noch während des Glühens entweicht, ein gewisser Theil auch im erkalteten Eisen in gebundener Form — gelöst oder legirt — zurückbleiben kann, ist wahrscheinlich. Einer genauen Ermittelung dieses Wasserstoffgehalts steht die Schwierigkeit gegenüber, den etwa in mikroskopisch kleinen Blasenräumen noch eingeschlossen gewesenen, also bereits gasförmig gewordenen, Wasserstoff von dem gebundenen Wasserstoffe zu trennen. Bei Untersuchung sehr fein zertheilter Proben durch Verbrennung im vollständig trockenen Sauerstoffstrome fand ich einen Wasserstoffgehalt von 0,0017 bis 0,0028 v. H. des Eisengewichts;[2]) ob aber nicht auch dieser Wasserstoff bereits gasförmig eingeschlossen war, lässt sich nicht mit Bestimmtheit behaupten.

23. Eisen und Stickstoff.

Dass unter gewissen Verhältnissen das Eisen grössere Mengen Stickstoff aufnehmen könne, unterliegt nach den darüber angestellten Versuchen keinem Zweifel. Beim Erwärmen metallischen Eisens in Ammoniakgas nimmt es, wie früher Savart und Desprez[3]) fanden und später Buff[4]) bestätigte, an Gewicht bis zu 11 v. H. zu, während das

1) Comptes rendus, tome 76, p. 482 und 565.
2) „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 591.
3) Annales de chimie et de physique, t. 42, p. 122.
4) Liebigs Annalen der Chemie und Pharmacie, Band 88, Seite 375.

spezifische Gewicht sich verringert und das Eisen spröde wird. In allen diesen Fällen wurde Stickstoff im Eisen gefunden, während nach Frémys Untersuchungen Wasserstoff nicht mit gelöst wird.[1])

Einer eingehenden Untersuchung wurde solches stickstoffreiche Eisen, welches auch durch mässiges Erhitzen von Eisenchlorür im Ammoniakstrome sich darstellen lässt, durch Stahlschmidt unterzogen.[2]) Er erhielt ein Eisen mit durchschnittlich 11,1 v. H. Stickstoff und schliesst, dass hier eine engere chemische Verbindung Fe_4N vorliege. Bei stärkerer Erhitzung im Wasserstoff-, Luft- oder selbst im Ammoniakstrome dagegen wird das Stickstoffeisen zersetzt und der Stickstoff ausgetrieben.

Mitunter lässt sich beim Durchbrechen grösserer Eisenstücke, insbesondere des Flusseisens, entweichendes Ammoniakgas wahrnehmen, theils durch den Geruch, theils auch durch Anwendung chemischer Mittel, woraus sich schliessen lässt, dass hier Stickstoff und Wasserstoff neben einander anwesend gewesen waren.[3]) Da aber Ammoniak durch Eisen in der Wärme zerlegt wird, ist anzunehmen, dass die Vereinigung erst im erkalteten Eisen stattgefunden habe.

In früherer Zeit glaubte man häufig reichliche Mengen Stickstoff im gewerblich dargestellten Eisen gefunden zu haben,[4]) und man schrieb diesem Stickstoffgehalte besondere Einwirkungen zu. Spätere Untersuchungen von Rammelsberg,[5]) Allen,[6]) Harbord und Twynam[7]) haben jedoch dargethan, dass die Gewichtsmenge des im gewöhnlichen Eisen vorkommenden Stickstoffs nur gering sein kann und dass eine merkbare Einwirkung davon auf die Eigenschaften des Eisens nicht zu erwarten ist.

Allen fand bei Untersuchung verschiedener Eisensorten folgende Stickstoffgehalte:

im dünnen Eisendraht	0,0123 v. H.
„ Eisen zu Panzerplatten	0,0131 „ „
„ Siemens-Martinstahl mit 0,22 v. H. Kohle .	0,0107 „ „
„ Tiegelstahl mit 1,30 v. H. Kohle	0,0172 „ „
„ Spiegeleisen mit 3,80 v. H. Kohle und 20 v. H. Mangan	0,0041 „ „

Auch Tholander,[8]) sowie Harbord und Twynam[7]) fanden in zahlreichen Proben verschiedenen Flusseisens 0,006 bis 0,022 v. H. Stickstoff.

Dass geschmolzenes Eisen neben Wasserstoff auch gewisse Mengen Stickstoff zu lösen vermag und beim Erstarren wieder in Gasform ent-

1) Annales de chimie et de physique, t. 83, p. 375.
2) Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Band 125, Seite 37.
3) Mehrere solcher Beobachtungen sind in Howe, Metallurgy of Steel, Seite 113 zusammengestellt.
4) So z. B. wollte Schafhäutl im weissen Roheisen 0,76 v. H., im Spiegeleisen sogar 1,20 v. H. Stickstoff gefunden haben (Philosophical Magazine 1840, vol. 16, p. 44).
5) Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften 1862, Seite 692.
6) Iron, vol. 16, p. 132.
7) Journal of the Iron and Steel Institute 1896, II, p. 161.
8) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 115.

lässt, ergiebt sich aus den auf Seite 345 mitgetheilten Analysen der in Gasblasen gefundenen Gasgemenge. Es ist ferner nicht unwahrscheinlich, dass ein kleiner Theil des solcherart gelösten Gases auch im erkalteten Eisen zurückbleiben könne; die erwähnte Ammoniakbildung lässt hierauf schliessen. Ob aber die von Allen, Tholander, Harbord und Twynam gefundenen kleinen Stickstoffmengen gänzlich aus solchem gebundenen Stickstoffe bestanden und nicht anderen Quellen entstammten, ist ebenso schwierig nachzuweisen als die Frage, welche Form der durch Gewichtsanalyse gefundene, oben erwähnte Wasserstoffgehalt besass.

Beim einfachen Glühen des Eisens (ohne Schmelzung) im reinen und trocknen Stickstoffstrome wird, soweit meine eigenen Beobachtungen reichen, kein Stickstoff aufgenommen. Auch Stahlschmidt fand bei den oben erwähnten Untersuchungen keine Spur aufgenommenen Stickstoffs, als er Eisen im trockenen Stickstoffstrome glühte.

24. Eisen und Kohlenoxyd.

Des Verhaltens des Eisens und der Eisenoxyde zum Kohlenoxyd, insbesondere bei der Benutzung des letzteren als Reductionsmittel, ist bereits mehrfach gedacht worden.

Auf Seite 288 hat fernerhin jener eigenthümliche Vorgang, das Zerfallen des Kohlenoxyds unter Ablagerung von Kohlenstoff bei der Berührung mit Eisenoxyden in einer Temperatur von ungefähr 400° C., Besprechung gefunden.

Stead will beobachtet haben, dass auch metallisches Aluminium, indem es sich in Aluminiumoxyd (Thonerde) umwandelt, Kohlenoxyd unter Abscheidung von Kohle zu zerlegen vermag ($2\,Al + 3\,CO = Al_2O_3 + 3\,C$).[1]) Der Vorgang kann eine Bedeutung für die Rolle besitzen, welche der Zusatz kleiner Mengen Aluminium bei der Flusseisenerzeugung spielt. Indem das Aluminium das aus dem Metalle sich entwickelnde oder in dem Metalle gelöste Kohlenoxyd zerstört, behindert es die Gasentwickelung.

Dass eine Bildung von Kohlenoxyd unter der Einwirkung von Eisenoxydul, welches im flüssigen Eisen gelöst ist, auf den Kohlenstoffgehalt des Eisens stattfinden könne, wurde auf Seite 273 erwähnt. Die Erscheinungen, welche solches austretendes Kohlenoxydgas hervorruft, gleichen denen, welche durch entweichenden Wasserstoff veranlasst werden (Spratzen, Blasenbildung). Daher enthalten auch die aus Blasen des erstarrten Eisens entnommenen Gase häufig Kohlenoxyd neben Wasserstoff, wie die auf Seite 345 mitgetheilte Zusammensetzung solcher Gasgemenge erweist; noch reichlichere Mengen Kohlenoxyd findet man in den Gasen, welche aus dem noch flüssigen Metalle austreten.[2]) Wird

1) Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 190.

2) Es möge hier daran erinnert werden, dass die in den Gasblasen gefundenen Gase zum sehr grossen Theile erst nach dem Starrwerden des Metalls in die Blase eintraten, wie oben begründet wurde. Wenn das starre Metall überhaupt noch Kohlenoxyd entlässt, so ist dessen Menge jedenfalls nicht erheblich im Vergleich zu der des austretenden Wasserstoffs.

aber in einer Flüssigkeit, welche ein Gas gelöst enthält, ein zweites Gas entwickelt, so veranlasst dieses auch das erstere Gas zum rascheren Entweichen; daher hat diese Kohlenoxydbildung im flüssigen Eisen auch eine vermehrte Entwickelung von Wasserstoffgas zur Folge, sofern das Eisen wasserstoffhaltig war. Setzt man nun dem Eisen, welches Eisenoxydul und Kohlenstoff neben einander enthält, kohlenstoffhaltiges Eisenmangan zu, um das Eisenoxydul zu zerstören, so wirkt nicht allein der Mangangehalt des Zusatzes, sondern zum Theil auch der jetzt in reichlichem Ueberschusse anwesende Kohlenstoffgehalt auf das Eisenoxydul ein; die Folge ist eine zwar nur kurze Zeit andauernde, aber starke Entwickelung von Kohlenoxydgas, und das jetzt entweichende Gas zeigt einen grösseren Kohlenoxydgehalt als vor dem Zusatze. Müller, dessen Untersuchungen über die Zusammensetzung der in dem erkalteten Metalle eingeschlossenen Gase oben erwähnt wurden, sammelte auch die aus dem noch flüssigen Metalle austretenden Gase und fand dabei unter anderen nachstehend mitgetheilte Zusammensetzung: [1])

	CO	H	N	CO_2
	Raumtheile			
Bessemerflusseisen **vor** Zusatz kohlenstoffhaltigen Eisenmangans	18,6	54,2	24,9	2,3
Bessemerflusseisen **nach** Zusatz	37,3	47,3	7,9	7,5
" " "	34,0	49,5	8,6	7,9
" " "	43,4	46,9	6,6	3,1
Sehr gasreiches Bessemerflusseisen **nach** Zusatz	38,4	51,0	2,2	8,4
Desgleichen	70,7	20,7	6,5	2,1
Thomasflusseisen **vor** Zusatz	8,8	71,9	18,1	2,0
" " "	27,3	43,5	26,2	3,0
" " "	35,0	38,4	22,5	4,1
" **nach** "	61,3	2,3	36,4	—
" " "	57,5	4,7	38,0	—
" " "	50,9	5,1	43,3	0,3
" " "	77,3	6,4	16,0	0,4
Martinflusseisen **vor** Zusatz	48,0	35,1	15,4	1,5
" " "	46,1	43,6	6,9	3,4

Der gefundene Kohlensäuregehalt ist jedenfalls durch die Einwirkung kleiner Luftmengen, welche beim Auffangen der Gase sich nicht gänzlich abschliessen liessen, auf das austretende Kohlenoxyd entstanden.

Ob Kohlenoxyd auch im geschmolzenen Eisen sich lösen kann, um aus diesem unter gleichen Verhältnissen wie gelöst gewesener Wasserstoff und Stickstoff zu entweichen, ist bislang nicht erwiesen. Thatsache ist es, dass auch Roheisen im flüssigen Zustande Kohlenoxyd neben Wasserstoff entlässt, obgleich hier die Anwesenheit von Eisenoxydul, welches eine Neubildung von Kohlenoxyd veranlassen könnte, nicht wahrscheinlich ist. Müller fand die aus geschmolzenem Roheisen austretenden Gase folgendermaassen zusammengesetzt:

1) „Stahl und Eisen" 1883, S. 443.

	CO	H	N	CO_2
	Raumtheile			
Graues Bessemerroheisen mit 3,69 v. H. Kohlenstoff, 1,68 v. H. Silicium, 1,93 v. H. Mangan	37,3	58,3	0,5	3,9
Spiegeleisen mit 4,18 v. H. Kohlenstoff, 0,25 v. H. Silicium, 7,37 v. H. Mangan	48,7	49,5	0,5	1,3
Thomasroheisen mit 3,10 v. H. Kohlenstoff, 0,20 v. H. Silicium, 0,74 v. H. Mangan, 3,02 v. H. Phosphor .	39,6	46,8	10,0	3,6

Dass dagegen in den Hohlräumen des erkalteten Roheisens ebenso wie in denen des erstarrten Flusseisens das Wasserstoffgas bedeutend überwiegt, zeigen die auf Seite 345 mitgetheilten Analysen. Starres Metall entlässt zwar im glühenden Zustande noch Wasserstoff und Stickstoff, aber, wie schon erwähnt, nicht mehr Kohlenoxyd.

Wird Kohlenoxyd über metallisches Eisen geleitet, welches in niedriger Temperatur durch Wasserstoff reducirt war, so vermag es bei 45 bis 80° C. mit dem Eisen eine flüchtige Verbindung einzugehen, welche jedoch in höherer Temperatur wieder zerfällt.[1]) Für die Eisendarstellung hat dieser Vorgang keine wesentliche Bedeutung.

Litteratur.

a) Einzelne Werke.

Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 1. Braunschweig 1891 bis 1896.

Henry Marion Howe, The Metallurgy of Steel, vol. 1. New-York 1890.

J. Lowthian Bell, Ueber die Entwickelung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen verschiedener Dimensionen. Frei übersetzt von P. Tunner. Leipzig 1870. (Enthält Mittheilungen über zahlreiche Versuche, die Reduction der Eisenerze betreffend.)

J. Lowthian Bell, Principles of the Manufacture of Iron and Steel. London 1884.

H. Thölander, Experimentelle Untersuchungen über die Reduction von Eisenerzen und die Wirkung der Röstung. Deutsch von J. v. Ehrenwerth. Wien 1878.

C. Schinz, Documente betreffend den Hochofen, S. 64. Berlin 1868. (Reduction der Eisenerze.)

H. Behrens, Das mikroskopische Gefüge der Metalle und Legirungen. Hamburg 1894.

b) Abhandlungen.

Ueber reines Eisen.

A. Sauveur, The influence of sudden cooling on nearly pure iron. Engineering and Mining Journal, vol. 64, p. 489.

A. Ledebur, Der Einfluss des Ablöschens auf reines Eisen. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 668.

1) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 1891, Seite 2248 (Mond und Quinke); Comptes rendus, vol. 112, p. 1343 (Berthelot).

W. M. Hicks and L. T. O'Shea, On the production of pure iron by electrolysis. Extracted from the commemoration volume of the University College. Sheffield 1897.

Allgemeines über die Vereinigungen des Eisens. Mikroskopie des Eisens.

A. Ledebur, Ueber einige Saigerungserscheinungen. „Stahl und Eisen" 1884, S. 634, 705.

H. Reuss, Ueber das Saigern von Bessemerstahl. „Stahl und Eisen" 1891, S. 634.

B. W. Cheever, The segregation of impurities in Bessemer steel ingots on cooling. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 13, p. 167.

S. O. Arnolds und R. A. Hadfields Untersuchungen über den Einfluss der Bestandtheile des Eisens auf seine Eigenschaften. „Stahl und Eisen" 1894, S. 477 aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1894 I, p. 107 und 156.

A. Ledebur, Ueber den Kleingehalt des Eisens an verschiedenen Körpern. „Stahl und Eisen" 1884, S. 810.

H. v. Jüptner, Beiträge zur Lösungstheorie von Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen" 1898, S. 506.

O. Vogel, Meteoreisen und seine Beziehungen zum künstlichen Eisen. „Stahl und Eisen" 1896, S. 442.

A. Martens, Ueber die mikroskopische Untersuchung des Eisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, S. 11.

A. Martens, Zur Mikrostructur des Spiegeleisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, S. 205, 481.

A. Martens, Ueber das mikroskopische Gefüge und die Krystallisation des Roheisens, speciell des grauen Roheisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1880, S. 398.

A. Martens, Ueber die mikroskopische Untersuchung des Eisens. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1882, S. 233.

A. Martens, Ueber das Kleingefüge des schmiedbaren Eisens. „Stahl und Eisen" 1887, S. 235.

A. Martens, Das mikroskopische Gefüge von Flusseisen in gegossenen Blöcken. Mittheilungen aus den Königl. technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1893, S. 274.

A. Martens, Die Mikroskopie der Metalle auf dem Ingenieurcongress zu Chicago 1893. „Stahl und Eisen" 1894, S. 758.

H. C. Sorby, On the microscopical structure of iron and steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1887, I, p. 255.

J. C. Bayles, Microscopical analysis of the structures of iron and steel. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 11, p. 261.

H. Wedding, Die Eigenschaften des schmiedbaren Eisens, abgeleitet aus der mikroskopischen Untersuchung des Gefüges. „Stahl und Eisen" 1885, S. 489.

F. Osmond, Méthode générale pour l'analyse micrographique des aciers au carbone. Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, Mai 1895 (auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1895, S. 954).

F. Osmond, Die Metallographie als Untersuchungsmethode. „Stahl und Eisen" 1897, S. 904.

S. Jordan, Rapports sur les titres de M. F. Osmond à la médaille Lavoisier. Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, Jouillet 1897.

A. Ledebur, Mikroskopie und Betrieb. „Stahl und Eisen" 1897, S. 302.

Ueber Eisen und Sauerstoff, Rosten, Reduction der Eisenoxyde, Kohlenstoffablagerung.

P. C. Calvert, Sur l'oxydation du fer. Comptes rendus, t. 70, p. 453; Dinglers polyt. Journal, Bd. 196, S. 129.

A. Wagner, Ueber den Einfluss verschiedener Lösungen auf das Rosten des Eisens. Dinglers polyt. Journal, Bd. 218, S. 70.

W. Parker, The relative corrosion of iron and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute, tome I, p. 39; Iron, vol. 17, p. 331.

A. Mercier, Note sur l'altération du fer et de la fonte par les matières grasses dans les organes des machines soumis à l'action de la vapeur. Annales des mines, série 7, t. 15, p. 234.

R. Åkerman, Ueber das Rosten des Eisens. „Stahl und Eisen" 1882, S. 417; aus Jernkontorets Annaler 1862, Nr. 3.

M. L. Gruner, Mémoire sur l'oxydabilité relative des fontes, des aciers et des fers sous l'action de l'air et de l'eau plus ou moins chargés d'éléments étrangers. Revue universelle, t. 13 (1883), p. 659; Annales des mines, série 8, t. 3, p. 5.

W. Thörner, Ueber Ursache und Verhinderung der starken Oxydation des eisernen Eisenbahn-Oberbaus im Tunnel. „Stahl und Eisen" 1889, S. 822.

F. Muck, Ueber Zerstörungserscheinungen an Kesselblech, verursacht durch Luftgehalt des Speisewassers. „Stahl und Eisen" 1888, S. 837.

H. Otto, Verrostungsversuche mit Eisen- und Stahlblechen. „Stahl und Eisen" 1896, S. 561.

R. Åkerman, Die Reduction von Eisenoxyden durch Kohlenstoff. „Stahl und Eisen" 1883, S. 149 (aus Jernkontorets Annaler).

Dr. Stammer, Ueber Reduction durch Kohlenoxyd, namentlich des Eisens. Poggendorffs Annalen, Bd. 82, S. 136; Dinglers polyt. Journal, Bd. 120, S. 428.

J. L. Bell, Supplementary remarks on carbon impregnation by dissociation of carbonic oxide. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, I, p. 43.

L. Gruner, Mémoire sur la dédoublement de l'oxyde de carbone sous l'action combinée du fer métallique et des oxydes de ce métal. Annales des chimie et de physique, série 4, t. 26, p. 5.

L. Gruner, Études métallurgiques. Annales des mines, série 7, t. 15, p. 108. (Carbone ferrugineux; sulfures de potassium et de silicium sortant de l'avant-creuset des hauts-fourneaux; fonte écailleuse; fontes silicieuses; fonte avec divers métaux étrangers.)

A. Ledebur, Kohlenstoffausscheidung im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 277.

S. Wiborgh, Verfahren zur Bestimmung der Reducirbarkeit der Eisenerze. „Stahl und Eisen" 1897, S. 804, 858.

F. Lürmann, Zerstörung von Hochofenschachtsteinen durch Kohlenstoffabscheidungen. „Stahl und Eisen" 1898, S. 168.

Ueber Eisen und Kohlenstoff.

F. Abel, Carbon in steel. Engineering, vol. 39, p. 150, 200.

Osmond et Werth, Théorie cellulaire des propriétés de l'acier. Annales des mines, série 8, t. 8 (1885), p. 5.

F. Osmond, Transformations du fer et du carbone dans les fers, les aciers et les fontes blanches. Paris 1888. Auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1888, S. 364.

F. Osmond, Études métallurgiques. Annales des mines, série 8, t. 14 (1888), p. 5.

Osmonds Studien über die Kohlung des Eisens durch Diamant. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1892, S. 457.

J. A. Brinell, Ueber Texturveränderungen des Stahls bei Erhitzung und bei Abkühlung. „Stahl und Eisen" 1885, S. 611 (Mittheilungen über Karbid- und Härtungskohle).

E. J. Ball, On the changes in iron produced by thermal treatment. Journal of the Iron and Steel Institute 1890, I, p. 85; 1891, I, p. 103.

F. C. G. Müller, Grundzüge einer Theorie des Stahls. „Stahl und Eisen" 1888, S. 291.

F. C. G. Müller, Die kritischen Punkte der Eisenlegirungen nach den Untersuchungen Osmonds. „Stahl und Eisen" 1891, S. 634.

E. Donath, Zur Chemie des Eisens. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1895, S. 147.

H. v. Jüptner, Arten des gebundenen Kohlenstoffs. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1896, S. 212.

H. v. Jüptner, Ueber das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1896, S. 447.

H. v. Jüptner, Kohlenstoffformen im Eisen. Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge 1896, S. 453 (auch als Sonderabdruck).

H. v. Jüptner, Die Bestimmung von Härtungs- und Karbidkohle und die verschiedenen Formen des gebundenen Kohlenstoffs. „Stahl und Eisen" 1897, S. 573.

L. Franck, Die Diamanten des Stahls. „Stahl und Eisen" 1896, S. 585.

F. Mylius, F. Foerster und G. Schöne, Das Karbid des geglühten Stahls. Zeitschrift für anorganische Chemie 1896, S. 38.

J. O. Arnold, The influence of carbon on iron. Minutes and proceedings of the Institution of Civil Engineers 1896, p. 127.

G. Charpy, Sur la transformation produite dans le fer par une déformation permanente à froid. Comptes rendus t. 117 (1893), p. 850.

G. Charpy, Sur la transformation allotropique du fer sous l'influence de la chaleur. Comptes rendus t. 118 (1894), p. 418, 868.

G. Charpy, Sur le rôle des transformations du fer et du carbone dans le phénomène de la trempe. Comptes rendus t. 118 (1894), p. 1258.

G. Charpy, Sur les temperatures de transformation des fers et des aciers. Comptes rendus t. 119 (1894), p. 735.

G. Charpy, Sur la trempe de l'acier. Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale 1895, p. 660; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1895, S. 745.

E. H. Saniter, Carbon and iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1897 II, p. 115; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1897, S. 956.

A. Ledebur, Einige neuere Untersuchungen und Theorien über die Formen des Kohlenstoffs im Stahl und Eisen. „Stahl und Eisen" 1886, S. 373.

A. Ledebur, Ueber das Verhalten des Roheisens beim Glühen in Holzkohle. „Stahl und Eisen" 1886, S. 777.

A. Ledebur, Ueber ein beachtenswerthes Verhalten des Eisens und Stahls. „Stahl und Eisen" 1887, S. 447.

A. Ledebur, Ueber die Benennung der verschiedenen Kohlenstoffformen im Eisen. „Stahl und Eisen" 1888, S. 742.

A. Ledebur, Neuere Untersuchungen über den Kohlenstoffgehalt des Eisens. „Stahl und Eisen" 1891, S. 294.

A. Ledebur, Die Vorgänge beim Härten des Stahls. „Stahl und Eisen" 1895, S. 943.

A. Ledebur, Eine Saigerungserscheinung beim gehärteten Stahl. „Stahl und Eisen" 1896, S. 116.

A. Ledebur, Kohlenstoffformen und Stahlhärtung. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 436.

A. Ledebur, Neuere Arbeiten über das Glühfrischen und die Veränderungen der Kohlenstoffformen beim Glühen. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 628.

Ueber Eisen und Silicium.

W. Mrázek, Experimentelle Untersuchungen über Silicium und Mangan im Stahl. Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Bd. 20, S. 406.

R. A. Hadfield, On alloys of iron and silicon. Journal of the Iron and Steel Institute 1889, II, p. 222.

A. Ledebur, Ueber den Einfluss eines Siliciumgehalts auf schmiedbares Eisen. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 1000.

F. C. G. Müller, Untersuchungen über den Einfluss des Siliciums auf die Beschaffenheit des Werkzeugstahls. „Stahl und Eisen“ 1888, S. 375.

Ueber Eisen und Phosphor.

C. Freese, Ueber die Verbindungen des Eisens mit dem Phosphor. Poggendorffs Annalen, Bd. 132, S. 225.

G. Hilgenstock, Ueber das Verhalten des Phosphors im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 2.

G. Hilgenstock, Die Reducirbarkeit des basischen Kalkphosphats. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 719.

W. Cheever, Two conditions of phosphorus in iron. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 15, p. 448; vol. 16, p. 269.

L. Schneider, Zu dem Einflusse der Phosphorverbindungen auf Eisen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1887, S. 362.

H. v. Jüptner, Ueber die verschiedenen Arten des Vorkommens von Phosphor im Eisen und Stahl. Oesterr. Zeitschrift für Berg- u. Hüttenwesen 1894, S. 208.

H. v. Jüptner, Der Einfluss des Phosphors auf Kaltbruch. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 524.

Ueber Eisen und Schwefel.

M. H. Caron, Études sur l'acier (Entschweflung durch Mangan). Comptes rendus, tome 56, p. 828; daraus Dinglers polyt. Journal, Bd. 168, S. 380.

P. Tunner, Zur Abscheidung des Schwefels aus flüssigem Eisen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 205.

I. E. Stead, On the elimination of sulphur from iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1892 II, p. 223; 1893 I, p. 48.

I. E. Stead, Saniters Entschweflungsverfahren. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 165.

E. H. Saniters Entschweflungsverfahren. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 616.

G. Hilgenstock, Ueber das Schwefelabscheidungsverfahren. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 798.

G. Hilgenstock, Metallurgische Irrthümer. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 49.

G. Hilgenstock, Neuere Methoden zur Entschweflung des Roheisens. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 455.

Th. Turner, On silicon and sulphur in cast-iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, p. 28; daraus in „Stahl und Eisen“ 1888, S. 580.

A. Ledebur, Ueber den Schwefel im Eisen. „Stahl und Eisen“ 1894, S. 336.

F. E. Thompson, Ueber den Schwefel im Flusseisen. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 413 (aus Iron Age 1896, p. 810).

F. E. Campbell, On the diffusion of sulphides through the steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1897 II 80; daraus in „Stahl und Eisen“ 1897, S. 960.

F. Firmstone, Ueber das Verhalten magnesiareicher Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1894, S. 967 (aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 24, p. 498).

Eisen und Mangan.

H. Wedding, Der Einfluss des Mangans auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1881, S. 509.

R. A. Hadfield, On manganese steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, p. 41.

J. D. Weeks, Hadfields Manganese Steel. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, 13, p. 233; 15, p. 461.

H. M. Howe, Manganstahl. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 993.

Eisen und Kupfer.

A. Wasum, Ueber den Einfluss von Schwefel und Kupfer auf den Stahl beim Verarbeiten desselben in der Wärme. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 192.

Choubley, Ueber den Einfluss von Kupfer auf den Stahl. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 374.

I. Ball and A. Wingham, On the influence of copper on the tensile strength. Journal of the Iron and Steel Institute 1889 I, p. 123.

Eisen und Nickel.

H. Riley, On alloys of nickel and steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1889 I, p. 45; daraus in „Stahl und Eisen“ 1889, S. 859.

Ph. Moulan, Le ferronickel. Revue universelle des mines, série 3, t. 27 (1894), p. 142; auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1895, S. 346.

Vogel, Eigenschaften des Nickelstahls. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1895, S. 1353; „Stahl und Eisen“ 1895, S. 718.

M. Rudeloff, Festigkeit der Nickeleisenlegirungen. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1896, S. 65.

Eisen und Chrom.

Brustlein, On chrome pig-iron and steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, p. 770.

Busek, Bemerkungen über Ferrochrom und Chromstahl. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 727.

Boussingault, Sur la production, la constitution et les propriétés des aciers chromés. Annales de chimie et de physique, série 5, t. 15, p. 91.

R. A. Hadfield, Alloys of iron and chromium. Journal of the Iron and Steel Institute 1892 II, p. 49; auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1893, S. 14.

Eisen und Wolfram, Titan, Vanadium.

R. Åkerman, Die Beziehungen von Wolfram und Titan zum Eisen. Zeitschrift des berg- u. hüttenm. Vereins für Steiermark u. Kärnten 1876, S. 326.

C. Vogel, Vanadinstahl. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 615.

Eisen und Arsen.

Pattinson and Stead, On the behaviour of arsenic in ores and metal. Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, p. 171; daraus in „Stahl und Eisen“ 1888, S. 537.

Harbord and Tucker, On the effect of arsenic on mild steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, p. 183; daraus in „Stahl und Eisen" 1888, S. 577.

I. E. Stead, The effect of arsenic on steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1895 I, p. 77; daraus in „Stahl und Eisen" 1895, S. 653.

Eisen und Zinn, Zink, Wismuth.

G. H. Billings, Ueber die Eigenschaften der Verbindungen des Eisens mit anderen Metallen. Dinglers polyt. Journal, Bd. 228, S. 427.

Eisen und Aluminium.

A. Hadfield, On Aluminium-Steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 161, auszugsweise in Dinglers polyt. Journal, Bd. 280, S. 209.

A. Borsig, Versuche über den Zusatz von Aluminium zum Roheisen. „Stahl und Eisen" 1894, S. 6.

T. W. Hogg, On the influence of aluminium upon the carbon in ferro-carbon-alloys. Journal of the Iron and Steel Institute 1894 II, p. 104; daraus in „Stahl und Eisen" 1895, S. 407.

Eisen und Molybdän, Bor.

W. v. Lipin, Einige Eigenschaften des Molybdänstahls. „Stahl und Eisen" 1897, S. 571.

H. Moissan et G. Charpy, Sur l'acier au bore. Comptes rendus t. 120 (1895), p. 130; daraus in „Stahl und Eisen" 1895, S. 462.

H. N. Warren, Boron-iron. Engineering and Mining Journal, vol. 56, p. 619.

Ueber den Wasserstoff-, Stickstoff- und Kohlenoxydgehalt des Eisens.

L. Cailletet, Recherches sur les gaz contenus dans la fonte et l'acier à l'état de fusion. Comptes rendus, t. 59, p. 850; Dinglers polyt. Journal, Bd. 179, S. 208.

L. Cailletet, Sur le fer hydrogéné. Comptes rendus, t. 80, p. 319.

A. Ledebur, Ueber die Beizbrüchigkeit des Eisens. „Stahl und Eisen" 1887, S. 681; 1889, S. 745.

J. Parry, Gases occluded in the pig-iron, steel and wrought-iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1873, p. 429.

J. Parry, The absorption of hydrogen by pig-iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1874, I, p. 92.

L. Troost et P. Hautefeuille, Recherches sur la dissolution des gaz dans la fonte, l'acier et le fer. Comptes rendus, t. 76, p. 482 et 565; daraus polyt. Centralblatt 1873, S. 439; Dinglers polyt. Journal, Bd. 208, S. 331.

L. Troost et P. Hautefeuille, Sur la dissolution de l'hydrogène dans les métaux et la décomposition de l'eau par le fer. Comptes rendus, t. 80, p. 788.

L. Troost et P. Hautefeuille, Sur les fontes manganésifères (Auflösung von Gasen in manganhaltigem Eisen). Comptes rendus, t. 80, p. 909; polyt. Centralblatt 1875, S. 775.

F. C. G. Müller, Ueber die Ausscheidungen in Bessemergüssen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1879, S. 494.

F. C. G. Müller, Ueber den Wasserstoff- und Stickstoffgehalt im Eisen und Stahl. Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft 1881, S. 6.

F. C. G. Müller, Ueber die Gasausscheidungen in Stahlgüssen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 531.

F. C. G. Müller, Neue Experimentaluntersuchungen über den Gasgehalt von Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen" 1883, S. 443.

A. Ledebur, Zur Theorie der Gasentwickelung im Flusseisen. „Stahl und Eisen" 1883, S. 599.

C. Stahlschmidt, Beiträge zur Kenntniss des Stickstoffeisens. Poggendorffs Annalen, Bd. 125, S. 37.

A. H. Allen, Further experiments on the existence of nitrogen in iron and steel. Iron, vol. 16, p. 132.

H. Thôlander, Ueber den Stickstoffgehalt im Flusseisen. „Stahl und Eisen" 1889, S. 115.

G. I. Fowler, On the nitride of iron. Engineering and Mining Journal, vol. 56, p. 518.

F. W. Harbord and T. Twynam, On the presence of fixed nitrogen in steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, p. 161.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.